

# Università di Pisa



## Facoltà di Ingegneria

*Corso di Laurea Specialistica in*

Ingegneria Idraulica, dei Trasporti e del Territorio

*Tesi di laurea*

### **“Miglioramento della sicurezza per l’accessibilità al centro abitato di Porto Ercole (GR)”**

Relatori:

*Prof. Ing. Massimo Losa*

*Prof. Ing. Antonio Pratelli*

Candidato:

*Jacopo Falciani*

Anno Accademico 2014/2015

# Indice

Indice.....	2
1. Introduzione.....	7
1.1 Contesto e obiettivi della tesi.....	7
2. La rotatoria.....	11
2.1 Cenni storici.....	11
2.2 Definizioni e caratteristiche.....	14
2.3 Sicurezza.....	17
2.4 Configurazione geometrica.....	18
2.5 Campi di applicazione.....	20
2.6 Diffusione delle rotatorie in Italia.....	22
3. Le rotatorie in esame.....	23
3.1 Le rotatorie studiate in questa Tesi.....	23
3.1.1 Principali caratteristiche delle strade interessate dal progetto.....	23
3.1.2 Andamento planimetrico.....	24
3.1.3 Andamento altimetrico – raccordi verticali.....	27
3.2 Le scelte progettuali.....	30
3.2.1 Verifica della deviazione delle traiettorie.....	32
3.2.2 Verifica del raggio di deflessione.....	35
3.3 Visuali libere da garantire.....	37
3.3.1 Verifica di visibilità per l’arresto nel ramo in ingresso in rotatoria.....	41
3.3.2 Verifica di visibilità dell’intersezione.....	45
3.3.3 Verifica di visibilità della circolazione lungo l’anello.....	47
4. Intersezione a “T”.....	49
4.1 L’intersezione studiata.....	49
4.1.1 Elementi geometrici dell’intersezione a raso.....	49
4.1.2 Isola a goccia e isole triangolari.....	50
4.1.3 Dimensionamento della curva tridentata.....	53



4.1.4	Corsia di accumulo.....	54
4.2	Verifiche di sicurezza.....	56
4.2.1	Valutazione dei triangoli di visibilità.....	56
5.	Illuminazione delle rotatorie.....	59
5.1	Descrizione dell'intervento.....	59
5.2	Situazione normativa.....	59
5.3	Riconoscibilità degli ostacoli.....	60
5.4	Comfort visivo e abbagliamento.....	61
5.5	Configurazione degli impianti di illuminazione.....	61
5.6	Gli impianti di illuminazione pubblica.....	64
5.7	Principali parametri dell'illuminazione stradale.....	65
5.8	Misure goniometriche, distribuzione e qualità della luce.....	70
5.9	Gli apparecchi illuminanti.....	73
5.10	Requisiti tecnici e geometrici di apparecchi illuminanti e lampade.....	74
5.11	Apparecchi asimmetrici.....	75
5.12	Apparecchi totalmente schermati.....	76
5.13	Le lampade.....	77
5.14	L'impianto elettrico.....	78
5.15	Sistema di distribuzione.....	79
5.16	Illuminazione delle rotatorie.....	81
5.17	Requisiti di carattere illuminotecnico.....	81
5.18	Criteri di scelta dell'impianto.....	85
5.19	Calcolo meccanico dei sostegni.....	86
5.19.1	Determinazione della pressione del vento.....	86
5.19.2	Forze dovute all'azione del vento.....	89
5.19.3	Verifica della sezione di incastro.....	91
5.19.4	Verifica di stabilità delle fondazioni.....	92
5.20	L'impianto di illuminazione installato.....	94
5.21	Criteri di calcolo.....	96
5.22	Analisi dei costi.....	98
5.23	Conclusioni sui costi.....	101
5.24	Le rotatorie in esame.....	102

5.24.1	Analisi degli impianti di illuminazione installati.....	103
5.24.2	Caratteristiche tecniche e illuminotecniche.....	103
5.24.3	Caratteristiche delle lampade.....	103
5.24.4	Palo centrale.....	104
5.24.5	Apparecchi di illuminazione.....	105
5.24.6	Qualità dell'impianto.....	106
5.25	Scelte conclusive.....	107
5.26	Come migliorare la visione delle rotatorie.....	107
6.	Dimensionamento idraulico.....	111
6.1	Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti idraulici.....	111
6.2	Modello idrologico.....	113
6.2.1	Pluviometria.....	113
6.2.2	Pluviometria di progetto.....	115
6.2.3	Portate massime.....	122
6.2.4	Acque di piattaforma.....	161
6.3	Verifica fossi di guardia, pozzetti, tombini e fognature.....	161
6.4	Conclusioni del dimensionamento idraulico.....	166
7.	Livello di Servizio.....	167
7.1	Obiettivo.....	167
7.2	La circolazione veicolare.....	167
7.3	Livello di Servizio in condizioni di flusso ininterrotto.....	168
7.4	Il caso in esame.....	170
7.4.1	Calcolo del Livello di Servizio della strada esistente.....	171
7.4.2	Calcolo del Livello di Servizio dei bracci in entrata in ogni rotatoria..	173
7.4.2.1	Ramo SP2 Orbetellana – Porto Ercole.....	173
7.4.2.2	Ramo Porto Ercole – SP2 Orbetellana.....	175
7.4.2.3	Ramo Via Tramontana.....	176
7.4.2.4	Ramo Via dell'Aquilino.....	177
7.4.2.5	Ramo Strada zona artigianale Cala Galera.....	179
7.5	Livello di Servizio dell'intera rotatoria.....	180
7.5.1	Rotatoria 1.....	180

7.5.2 Rotatoria 2.....	181
7.6 Considerazioni conclusive.....	181
8. Analisi dell'incidentalità.....	182
8.1 Obiettivo.....	182
8.2 Dati a disposizione.....	182
8.3 Modello NHCRP.....	184
8.3.1 I calcoli effettuati.....	184
8.4 Considerazioni conclusive.....	188
9. Conclusioni.....	189
10. Bibliografia.....	191

*A mio padre*  
*alla mia famiglia*  
*a chi ha creduto in me*

# Introduzione

Il concetto di rotatoria viene utilizzato per la prima volta in Francia dove, infatti, l'architetto Enard instaura la regola del senso unico (antiorario) lungo l'anello per migliorare la circolazione stradale. Dalla sua prima attuazione fino ad oggi, il modo di concepire una rotatoria ha subito profonde modifiche. Oggi la definizione di rotatoria condivisa è la seguente: "è un incrocio costituito da un'area centrale circondata da un anello percorribile a senso unico antiorario dal traffico proveniente da più entrate, annunciato da specifiche indicazioni segnaletiche. Queste ultime per indicare agli utenti l'immissione in una particolare intersezione dove vige la regola di precedenza dei veicoli che percorrono l'anello". I vantaggi relativi a questa particolare intersezione sono: la riduzione dei punti di conflitto, la facilitazione delle manovre di svolta, la riduzione dei tempi d'attesa e dell'inquinamento atmosferico.

## 1.1 *Contesto e obiettivi della tesi*

Oggetto della presente tesi è il miglioramento dell'accessibilità al centro abitato di Porto Ercole (GR).

Porto Ercole è una frazione del comune di Monte Argentario sul lato orientale del promontorio, in provincia di Grosseto; con Porto Santo Stefano costituisce uno dei due abitati maggiori che formano il comune.

La situazione attuale dell'accessibilità al centro abitato è caratterizzata dalla presenza di una prima intersezione a "T" in prossimità del porto turistico di Cala Galera e della zona artigianale relativa a questo, e di una seconda intersezione a più bracci alle porte del

paese; quest'ultima permette di raggiungere il centro abitato proseguendo dritti, la nuova zona abitativa PEEP e la zona cimiteriale svoltando a destra o una porzione della zona artigianale Cala Galera svoltando a sinistra. Attraverso la stesura di questa tesi sarà affrontato il miglioramento al centro abitato attraverso i seguenti interventi:

- la realizzazione di due rotatorie gemelle in sostituzione delle intersezioni che interessano la SP 2 Orbetellana, via Tramontana, via dell'Aquilino, via Libeccio e la Strada Privata zona Artigianale Cala Galera.
- la sostituzione della prima intersezione con una nuova, caratterizzata da "isola a goccia" centrale per facilitare la svolta verso Porto Ercole e l'immissione verso il Porto Turistico di Cala Galera e da una corsia di accumulo per fare in modo che il traffico veicolare intenzionato a svoltare verso il porto non vada ad intralciare la normale circolazione dei veicoli che proseguono per raggiungere Porto Ercole.



Fig. 1.1 La zona interessata dal primo intervento



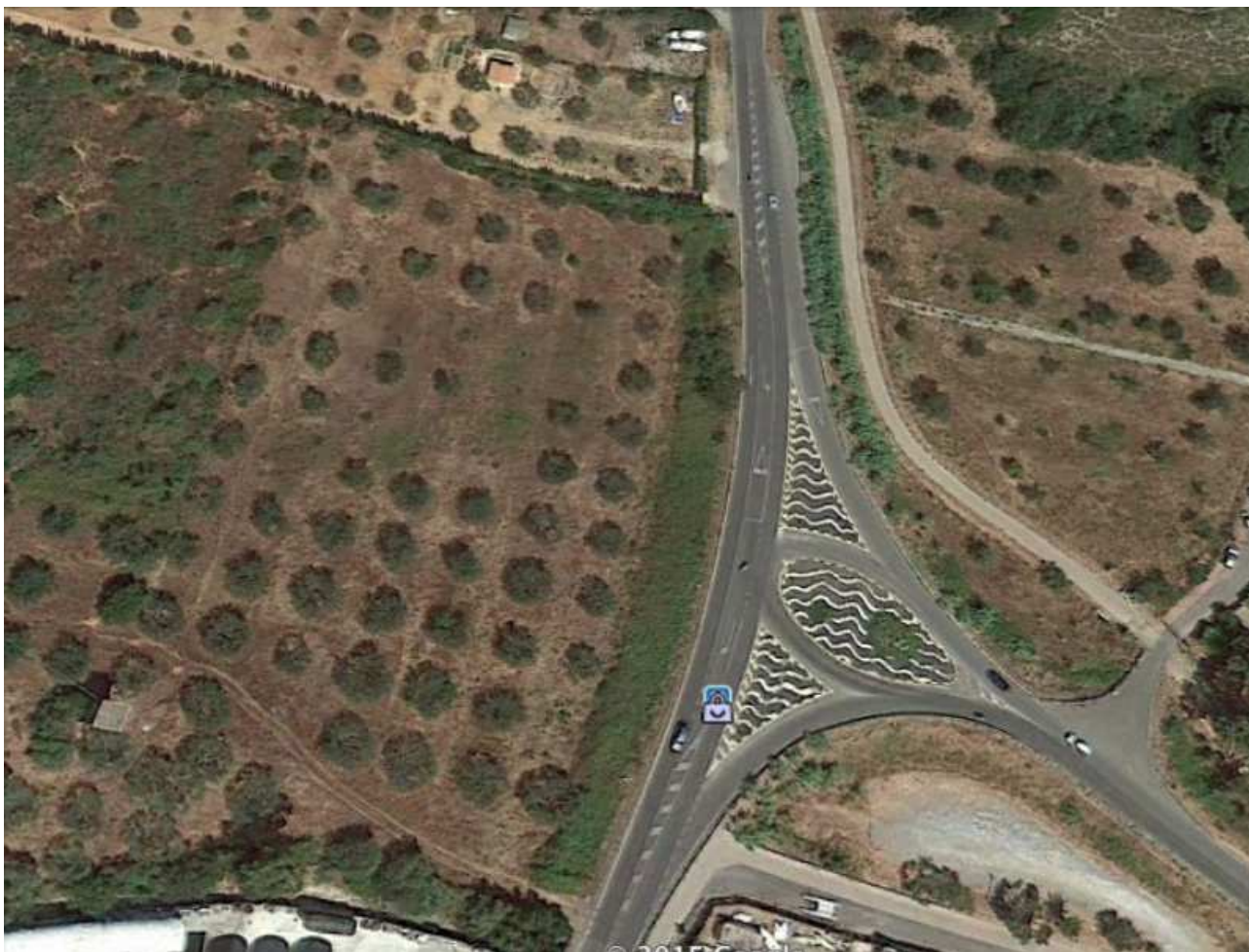


Fig. 1.2 La zona interessata dal secondo intervento

L'idea di questi nuovi interventi è nata dall'idea di rendere più fluidi e sicuri i flussi di traffico in entrata al centro abitato, a seguito delle problematiche messe in evidenza da una campagna di rilievi di traffico effettuati dalla società SINTAGMA di Perugia allo scopo della redazione del Piano Urbano del Traffico. Questi rilievi sono stati effettuati nel mese di Agosto 2013, mese in cui si registrano i maggiori flussi in quanto Porto Ercole basa principalmente la propria economia sul turismo, e hanno messo in evidenza aspetti negativi della circolazione (ad es. code e incidenti) nei punti dove sono stati pensati gli interventi suddetti.



# La Rotatoria

## 2.1 *Cenni Storici*

La rotatoria, concepita come particolare configurazione di incrocio a raso, è un'acquisizione degli inizi del Novecento. E' infatti in questo periodo che l'architetto francese Enard, nel sistemare il rond-point dell'Etoile a Parigi, per una migliore organizzazione della circolazione, instaura la regola del senso unico nel percorrere l'anello. Durante gli anni '50, le rotatorie vengono però abbandonate a causa di sempre più frequenti blocchi del traffico e dall'aumento del numero degli incidenti. La causa di questo insuccesso, secondo alcuni studiosi, è da attribuirsi alla distanza di affiancamento delle correnti di traffico che era spesso troppo breve in relazione alle velocità ed ai volumi di traffico; di conseguenza le alte velocità e gli spazi troppo ristretti causavano delle manovre non eseguibili in sicurezza. Preceduta da numerose esperienze sperimentali, nel 1966 in Gran Bretagna viene applicata in modo generalizzato la norma di dare la precedenza al traffico rotante già inserito nell'anello. Il diritto alla precedenza all'interno dell'anello, a cui negli anni '70 fanno ricorso numerose città inglesi, dal 1983 è assunto a norma in Francia aprendo in tal modo la strada ad uno sviluppo spettacolare delle rotatorie in quel paese e anche in altri paesi europei, tra cui la Svizzera. Infatti, questa gestione delle precedenza previene il blocco della circolazione all'interno dell'anello e permette un funzionamento a flusso ininterrotto, inoltre in conseguenza di ciò è cambiato il modo di guidare, nel senso che si è passati dalle manovre ad alta velocità a quelle a bassa velocità. Questo fatto previene l'immissione quando non è disponibile alcun spazio nel flusso giratorio, evitando quindi il blocco del sistema ed inoltre la capacità della rotatoria non è più dipendente dalle operazioni di interscambio ma solo dalla disponibilità di tempi e spazi per l'immissione.

Utilizzando questi nuovi concetti, la sicurezza di una rotatoria dipende ora dall'effettiva efficacia che questa ha di ridurre la velocità dei veicoli; condizionando la velocità e responsabilizzando i diversi utenti, siano essi automobilisti, pedoni o ciclisti. In Germania, Birgit Stuwe (1991) dell'Università della Ruhr, Bockum, condusse uno studio comparativo tra rotatorie e altri tipi di incroci. Vengono analizzate 14 rotatorie e 14 incroci in aree tra loro vicine. Questa scelta permette di ottenere un'analisi comparativa equa rispetto ai parametri di traffico, quali il volume veicolare e i comportamenti dell'utenza. L'analisi indica che il numero totale degli incidenti che avvengono sulle rotatorie è maggiore ma con conseguenze nettamente inferiori. Un'analisi più approfondita di questi risultati fa individuare due tipi distinti di rotatorie. Il primo raggruppa le grandi rotatorie di vecchia progettazione, con doppie corsie di entrata e con curvatura in ingresso avente un piccolo angolo di incidenza; questo gruppo di rotatorie fa segnalare un elevato numero di incidenti. Il secondo tipo è costituito dalle rotatorie moderne con entrata quasi radiale e isola centrale interna del diametro di 28-35 metri; queste fanno registrare pochi incidenti e con lievi conseguenze. Agli inizi degli anni '90, in Olanda, è stata condotta un'indagine statistica di tipo B&A (prima e dopo) sulla sicurezza della circolazione connessa a 181 intersezioni successivamente ristrutturate con soluzioni a rotatoria. La maggior parte di queste intersezioni era prima regolata da STOP o da segnali di precedenza ed era poi stata trasformata con rotatorie di tipo compatto. Nella tabella 2.1 sono riportati i risultati dell'indagine che mostrano come la sistemazione a rotatoria abbia determinato una generale riduzione dei casi d'incidente.

	<b>Senza rotatoria (prima)</b>	<b>Con rotatoria (dopo)</b>	<b>Δ(%)</b>
<b>Totale incidenti</b>	4.9	2.4	-51
<b>Incidenti gravi (feriti)</b>	1.3	0.37	-72
<b>Incidenti gravi (feriti) con biciclette e/o motocicli coinvolti</b>	0.55	0.31	-44

Tab. 2.1 - Numero medio di incidenti all'anno per intersezione, prima e dopo la soluzione a rotatoria

Un analogo studio condotto dieci anni prima in Australia aveva già messo in evidenza una forte riduzione dell'incidentalità a favore delle trasformazioni a rotatoria. Sempre all'inizio degli anni ottanta fu effettuato uno studio sulla sicurezza delle rotatorie a 4 rami, raccogliendo dati su 84 intersezioni di questo tipo. Lo studio si poneva l'obiettivo sia di classificare gli elementi di maggior influenza sulle cause di incidente nella rotatoria, sia di ricavare correlazioni tra condizioni di traffico, frequenza di incidenti e caratteristiche geometriche. Quest'analisi stabilì relazioni tra la frequenza di incidenti (numero di incidenti all'anno per ramo della rotatoria) per quattro differenti tipologie di incidente in funzione del tipo di flusso caratteristico coinvolto e degli elementi geometrici principali.

<b>Tipo di incidente</b>	<b>Funzione di:</b>	<b>Elementi geometrici</b>
Entrante - circolante	Flusso in entrata	Curvatura all'entrata Larghezza dell'entrata Svasatura
Entrante - circolante	Flusso circolante	Larghezza dell'anello Percentuale dei motocicli Angolo fra gli assi dei rami
In fase di approccio	Flusso in entrata	Curvatura all'entrata Larghezza dell'entrata
Veicolo isolato	Flusso in entrata	Curvatura all'entrata Larghezza della corsia di approccio Curvatura del tratto in approccio
Altro	Prodotto tra flusso circolante e flusso in entrata	Percentuale di motocicli
Pedoni	Prodotto tra (flusso entrante + circolante) e flusso pedonale	-----

Tab. 2.2 - Tipologie di incidente in dipendenza di caratteristiche del flusso e della geometria

Con l'introduzione della precedenza ai veicoli in circolazione nella rotatoria e l'abbassamento delle velocità si ottiene il risultato di avere, a parità di efficienza, delle rotatorie con l'isola centrale più piccola e di conseguenza delle rotatorie che possono essere inserite in contesti urbani con ridotte possibilità di spazi.

L'inserimento di questo sistema di incrocio in ambiti urbani ha portato anche ad avere un'utenza caratterizzata, oltre che dai veicoli, anche da pedoni e ciclisti.

## 2.2 Definizioni e caratteristiche

La rotatoria è una particolare intersezione a raso, caratterizzata dalla presenza di un'area centrale circolare e inaccessibile, circondata da un anello, percorribile in una sola direzione e in senso antiorario dal traffico proveniente da più entrate.

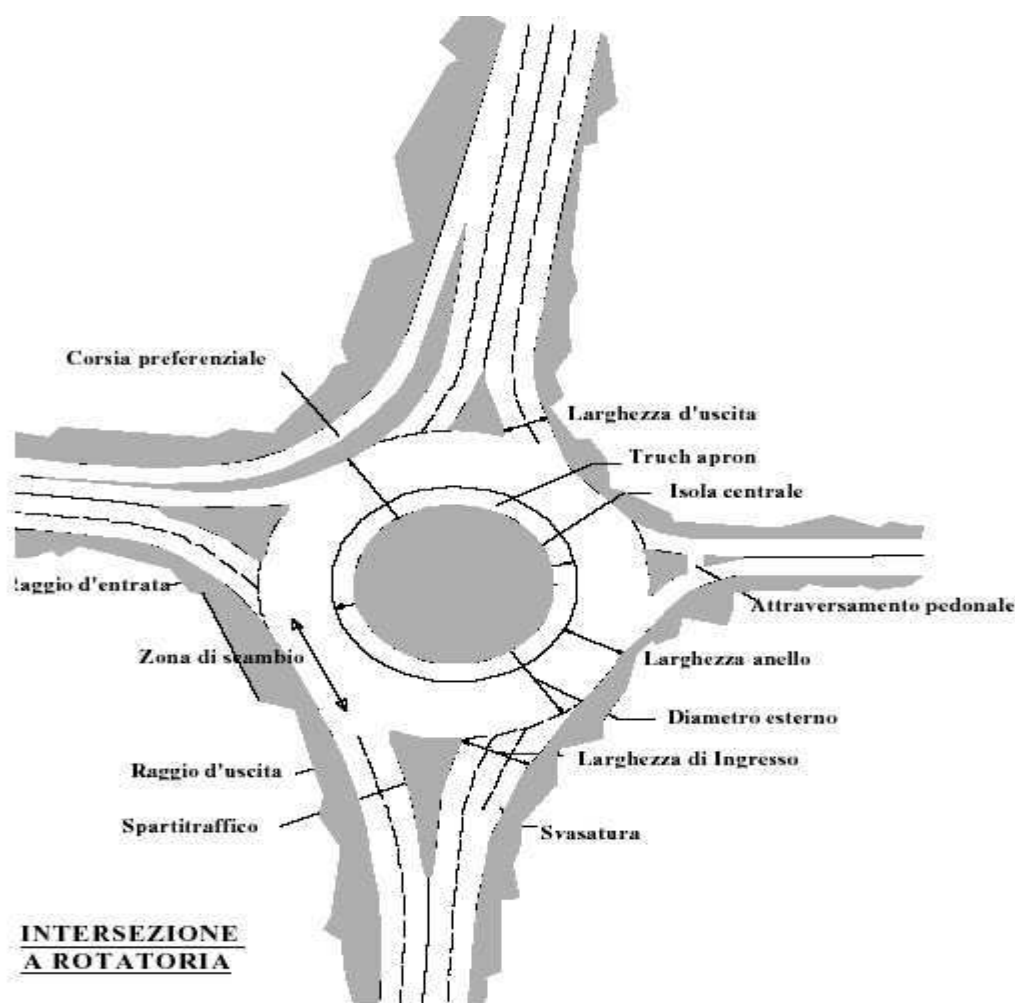


Fig. 2.3 – definizione degli elementi componenti la rotatoria

Nella figura sovrastante sono evidenziati gli elementi che compongono una rotatoria e per maggior completezza di seguito si riportano le definizioni dei singoli elementi.

- **ANELLO:** si intende la carreggiata che circonda l'isola centrale, percorsa dai veicoli in senso antiorario.
- **ISOLA CENTRALE:** è la parte più interna del sistema a rotatoria, generalmente di tipo non sormontabile e di forma circolare. La dimensione dell'isola centrale è influenzata dalla necessità di ottenere una sufficiente deviazione per i veicoli che attraversano diametralmente la rotatoria; per ottimizzare l'intersezione a rotatoria l'isola centrale deve avere una forma circolare. L'interno dell'isola può formare un rialzo con una pendenza massima del 15% e dovrà essere circondata da bordi bassi o, nel caso di rotatorie di piccole dimensioni, da una fascia carrabile di 1,5 – 2,0 metri. Bordi alti e sicurvia con ingombri considerevoli sono da evitare, poiché possono limitare la visibilità e di conseguenza la sicurezza.

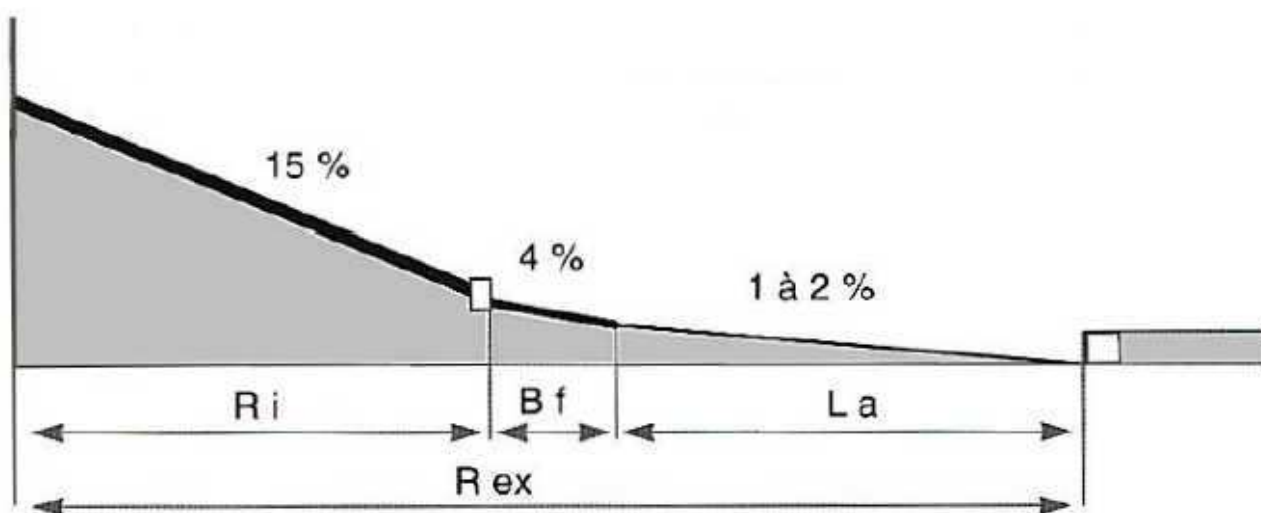


Fig. 2.4 - Sezione dell'isola centrale

Nella tabella sotto riportata sono riportati i valori dei raggi dell'isola centrale in relazione ai raggi esterni della rotatoria. Questa relazione considera la larghezza

dell'anello di circolazione pari a 7 m e per le rotatorie con raggi esterni di 12,5 e 15,0 m è considerata anche la realizzazione di una banchina transitabile della larghezza di 1,5 m, mentre per raggi esterni di 20 e 25 m è considerata una banchina di 0,50 m.

(R ex)	(R i)	(B f)	(L a)
Raggio esterno	Raggio isola centrale	eventuale fascia sormontabile	larghezza * dell'anello
12 m	3,5 m	1,5 m	7 m
15 m	6 m	2 m	7 m
17,5 m	8,5 m	2 m	7 m
20 m	11,5 m	1,5 m	7 m
25 m	16,5 m	1,5 m	7 m

\* larghezza dell'anello se tutti i rami sono ad una sola corsia

Tab. 2.5 - Raggi dell'isola centrale in relazione ai raggi esterni

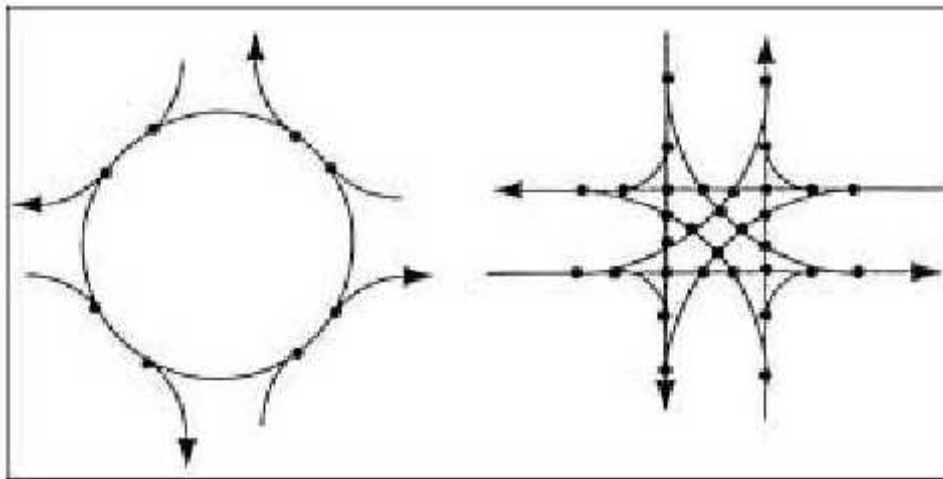
- **FASCIA VALICABILE:** generalmente è presente nelle rotatorie di piccolo diametro ed è una corona circolare che circonda l'isola centrale. Tale fascia serve a facilitare le manovre dei mezzi pesanti lungo l'anello, può essere semplicemente disegnata con segnaletica orizzontale, oppure pavimentata con materiale lapideo, diverso dalla pavimentazione dell'anello.
- **BRACCIO:** rappresenta quella porzione di asse stradale che converge verso l'anello.
- **ENTRATA:** è la parte terminale della carreggiata di ogni singolo braccio che viene utilizzata per entrare nella rotatoria. L'entrata è separata dall'anello dalla segnaletica orizzontale di dare la precedenza.
- **USCITA:** è la parte di carreggiata di ogni singolo braccio che viene utilizzata per uscire dalla rotatoria.
- **ISOLA DI SEPARAZIONE:** è una piattaforma costruita su un ramo di intersezione tra la corsia in entrata e quella in uscita. In alcuni casi può servire da rifugio ai pedoni e costringe i veicoli ad una deflessione della loro traiettoria. In ambito urbano, se

manca lo spazio, oppure se si tratta di sbocchi di vie con poco traffico, le isole di separazione talvolta sono limitate ad una semplice segnaletica orizzontale.

## 2.3 Sicurezza

Con la soluzione a rotatoria si ottiene una riduzione sia della gravità che del numero degli incidenti. I motivi di questa riduzione possono essere così riassunti:

- Riduzione dei punti di conflitto dovuti alla circolazione a senso unico. Nella figura seguente si può notare come la rotatoria, rispetto alla classica intersezione a raso, permette una riduzione dei punti di conflitto;



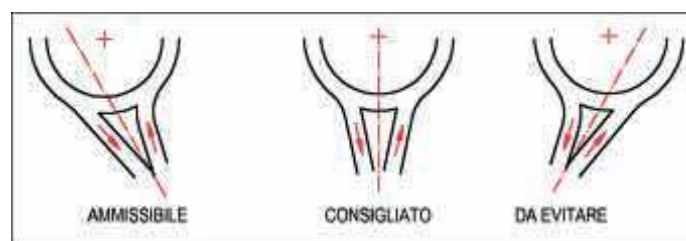
2.6 - Punti di conflitto in una rotatoria a 4 rami ed in un analogo incrocio a raso.

- eliminazione delle manovre di svolta a sinistra che sono causa della maggior parte degli incidenti mortali alle intersezioni;
- bassa velocità relativa tra i veicoli nelle aree di conflitto;
- facilità di decisione (solo svolta a destra) per ogni ramo di entrata;
- azione di responsabilizzazione dell'utenza. La rotatoria, a differenza di un incrocio regolato da semafori, costringe il guidatore ad una maggiore attenzione data la mancanza di un sistema automatico di regolazione delle precedenza;

- introduzione nella geometria del raccordo di una deflessione che impedisce l'attraversamento dell'incrocio con una traiettoria diretta e conseguentemente la riduzione della velocità del veicolo;
- le isole direzionali offrono rifugio ai pedoni e permettono di attraversare la strada in più tempi;
- possibilità di effettuare, in sicurezza, una manovra per lo più proibita negli incroci tradizionali: l'inversione di marcia.

## 2.4 Configurazione geometrica

Il criterio principale per definire la geometria delle rotatorie riguarda il controllo della deviazione delle traiettorie di attraversamento del nodo. Infatti, per impedire l'attraversamento della rotatoria a velocità non adeguate, è necessario che i veicoli che si apprestano a compiere tale manovra siano deviati dall'isola centrale. Il veicolo, in questo modo, è costretto a seguire una traiettoria circolare che nella letteratura tecnica viene definita curva di deflessione. Per regolare la velocità lungo l'anello, il progettista deve intervenire sul raggio di tali curve; naturalmente più il raggio è piccolo e più è bassa la velocità, ma per consentire una certa fluidità di manovra, in particolare per i mezzi pesanti, è consigliabile non scendere sotto determinati valori di questo raggio.



2.7 - Esempi di posizionamento del centro della rotatoria



Alla luce di tutto questo, si capisce l'importanza che riveste il posizionamento e la dimensione dell'isola centrale ed è proprio in base a questo elemento che le rotatorie vengono divise in:

- *rotatorie urbane*, con raggio interno compreso tra gli 8 e i 25 metri
- *rotatorie extraurbane*, con raggio interno compreso tra i 25 e i 50 metri
- *isole semicontrollate*, raggio interno tra i 3 e 5 metri
- *minirotatorie*, con raggio interno tra 1 e 1,25 metri

Gli altri elementi che compongono la rotatoria, comunque, non sono meno importanti ai fini del buon funzionamento dell'intersezione. L'entrata, l'uscita e l'isola spartitraffico sono elementi di raccordo tra i rami stradali e l'intersezione; questi sono importanti in quanto permettono di migliorare la percezione della rotatoria e preparano il veicolo a seguire la giusta traiettoria.

E' specificato nelle diverse Normative che la larghezza della corsia in entrata deve essere di 3 - 4 metri mentre quella della corsia in uscita di 4 - 5 metri. Per i raggi dei bordi delle corsie in ingresso si assumono valori compresi tra i 15 e i 20 metri, mentre per quelli dei bordi delle corsie di uscita si utilizzano raggi tra i 25 e i 35 metri. Questo perché da un lato si ha l'esigenza di rallentare i veicoli che si apprestano ad impegnare la rotatoria e dall'altro di facilitare la manovra di uscita. La geometria di raccordo dei rami sulla rotatoria deve essere tale da scongiurare traiettorie dirette, non compatibili con il sicuro e corretto funzionamento dell'intersezione. Il problema delle traiettorie dirette è frequente nel caso di rotatorie a tre rami; in ogni caso si deve correggere l'approccio dei rami per cercare una configurazione che defletta le traiettorie. Particolare attenzione deve essere dedicata alla realizzazione delle isole spartitraffico la cui larghezza ha notevole influenza sulla capacità del braccio; le dimensioni dipendono dalla velocità del ramo d'accesso e dal tipo di rotatoria. Per la larghezza dell'anello vengono suggeriti valori compresi tra un

minimo di 7 e un massimo di 12 metri; non è opportuno superare questo valore poiché i veicoli si disporrebbero su troppe file aumentando le interferenze. Per quanto riguarda la sezione trasversale della rotatoria, viene raccomandata una sola pendenza trasversale dell'anello verso l'esterno. Con questa soluzione non solo si favorisce lo smaltimento delle acque piovane, ma si ottiene anche un ulteriore abbassamento della velocità lungo l'anello; infatti viene a mancare un'importante aliquota dell'accelerazione centrifuga a cui è sottoposto il veicolo, che per mantenere l'equilibrio è costretto a rallentare.

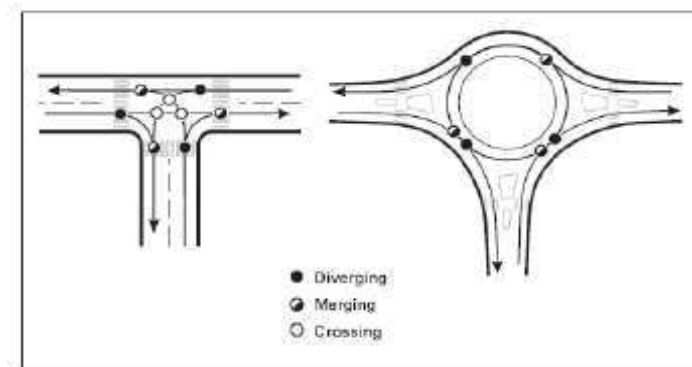
## *2.5 Campi di applicazione*

La decisione di sistemare un incrocio a rotatoria si basa, oltre che su criteri di gestione del traffico (capacità e livello di fluidità dell'intersezione), anche su criteri di sistemazione urbanistica. Infatti la costruzione di una rotatoria può risultare conveniente nei seguenti casi:

- quando si vuol evidenziare l'entrata di una località, di un quartiere o di uno spazio di transazione tra tessuti urbani morfologicamente differenti;
- nell'intersezione tra tre o quattro rami, quando le portate di svolta a sinistra e di attraversamento della strada secondaria non sono trascurabili rispetto a quelle della strada principale;
- in un incrocio con più di quattro rami;
- quando si vuole ridurre l'inquinamento di origine veicolare attraverso la fluidificazione del traffico e la riduzione delle manovre di "stop and go";
- nella sistemazione di incroci dove gli incidenti si verificano ripetutamente, ad esempio a causa dell'elevata velocità. Vari studi hanno dimostrato che, con l'adozione dello schema circolare, si consegue in genere un miglioramento della sicurezza con un decremento degli incidenti;

- nel caso di intersezione dove il perditempo causato dal semaforo sarebbe maggiore.

In molte situazioni le rotatorie offrono capacità simili a quelle del semaforo ma operano con minor perditempo e con maggior sicurezza, in particolare nei periodi in cui il traffico non è intenso.



2.8 - Riduzione dei punti di conflitto in una rotatoria a tre o quattro rami

Non sempre però è possibile usufruire dei vantaggi conseguibili con la realizzazione delle rotatorie, ed è sconsigliabile tale realizzazione quando ci si trovi in uno dei seguenti casi:

- mancanza di spazio, o comunque in un contesto eccessivamente costruito che non consente sufficiente visibilità e raggi di curvatura congruenti;
- irregolarità plano-altimetriche;
- regolazione diretta del traffico: la rotatoria disciplina egualmente tutto il traffico entrante, infatti ha come proprietà caratteristica fondamentale la "gerarchizzazione" delle correnti di traffico che in essa confluiscono;
- sequenza di incroci coordinati da semaforizzazione: l'inserimento di una rotatoria in una successione coordinata ha effetti contrari alla strategia della sequenza stessa;

- precedenza al mezzo pubblico: mentre è possibile predisporre corsie riservate sui rami di accesso, non è possibile attribuire alcuna precedenza al mezzo pubblico all'interno dell'anello

## 2.6 *Diffusione delle rotatorie in Italia*

Negli ultimi quindici anni anche in Italia si sono diffuse le rotatorie di cosiddetta "moderna concezione", o di "seconda generazione", ossia con precedenza ai veicoli che si trovano a percorrere l'anello, anziché a quelli che entrano dai diversi rami, regola che invece valeva per le rotatorie di "prima generazione". Questa nuova regola di gestione della precedenza all'anello permette di realizzare rotatorie di dimensioni abbastanza contenute a fronte di alti valori di capacità di traffico.

L'Italia si avvicina al concetto di rotatoria nel 1993, col nuovo Codice della Strada. Dobbiamo aspettare fino al 2004 per vedere una nuova Normativa Tecnica Nazionale che per altro si è rivelata lacunosa e priva di fondamenti tecnici elementari. Le moderne rotatorie sono distinte in tre tipologie in base alla dimensione  $D$  del diametro del cerchio inscritto (o diametro esterno), che viene definito sulla base del tipo di strade confluenti, del volume e della composizione del traffico, delle velocità prevalenti e dello spazio disponibile.

Abbiamo le *mini rotatorie*, con  $D$  inferiore a 22 m, le *rotatorie compatte*, con  $D$  compreso tra 22 e 35-40 m e le *grandi rotatorie* quando  $D$  è maggiore di 40 m.

Le mini rotatorie vengono realizzate in zone residenziali o nel centro cittadino, quelle compatte sono adatte a zone centrali o di prima periferia, mentre quelle grandi vengono di solito realizzate negli incroci di viabilità tangenziale o di circonvallazione, fino ad ambienti extraurbani.

## Rotatorie in esame

### 3.1 *Le rotatorie studiate in questa tesi*

In questa tesi viene affrontata la progettazione di due rotatorie gemelle al posto di più comuni intersezioni a raso per migliorare la sicurezza del traffico veicolare in termini di fluidità della circolazione e di incidenti.

#### 3.1.1 *Principali caratteristiche delle strade interessate dal progetto*

Strada Provinciale 2 Orbetellana

- Larghezza corsie – 3,50 m
- Larghezza della banchina di destra – 1,25 m
- $V_{pmin}$  – 60 Km/h
- $V_{pmax}$  – 100 Km/h

Via Tramontana – Strada Urbana di Quartiere E

- Larghezza corsie – 3,00 m
- Larghezza della banchina di destra – 0,50 m
- Larghezza minima marciapiede – 1,50 m
- $V_{pmin}$  – 40 Km/h
- $V_{pmax}$  – 60 Km/h

#### Via Libeccio – Strada Locale F

- Larghezza corsie – 2,75 m
- Larghezza della banchina di destra – 0,50 m
- Larghezza minima marciapiede – 1,50 m
- $V_{pmin}$  – 25 Km/h
- $V_{pmax}$  – 60 Km/h

#### Via dell'Aquilino – Strada Urbana di Quartiere E

- Larghezza corsie – 3,00 m
- Larghezza della banchina di destra – 0,50 m
- $V_{pmin}$  – 40 Km/h
- $V_{pmax}$  – 60 Km/h

#### Strada Privata Zona Artigianale Cala Galera

- Larghezza corsie – 3,00 m
- Larghezza della banchina di destra – 0,50 m
- $V_{pmin}$  – 40 Km/h
- $V_{pmax}$  – 60 Km/h

### 3.1.2 *Andamento planimetrico*

Considerando l'infrastruttura viaria nella sua totalità, ovvero tutte le strade dall'intersezione in corrispondenza del porto turistico di Cala Galera alle rotatorie gemelle alle porte del centro abitato, troviamo una serie di rettifili di varie lunghezze e solamente

due curve circolari: una tra i picchetti 10 e 13 del tratto di strada CD raccordata al rettilineo che la precede e a quello che la segue attraverso due clotoidi, e la seconda tra i picchetti 4 e H del tratto di strada CD raccordata al rettilineo che la precede attraverso un'altra clotoide.

Come previsto nel D.M. 5/11/2001 tra una curva a raggio costante e un rettilineo è inserita una curva di transizione, la clotoide; quest'ultima fa parte di una più vasta famiglia di curve (spirali generalizzate) a curvatura variabile di equazione intrinseca:

$$r \cdot S^n = A^{n+1}$$

dove  $A$  è il *parametro (o fattore) di scala*, mentre  $n$  è il *fattore di forma* poiché determina il modo in cui varia la curvatura.

La grandezza caratteristica della clotoide, il parametro di scala  $A$ , viene sottoposto a due verifiche:

- limitazione del contraccollo
- limitazione della sovra pendenza

La limitazione del contraccollo, secondo quanto previsto nel già citato D.M. 5/11/2001m, prevede che:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{v_{\max}^3}{c} - \frac{g \cdot v_{\max} \cdot R_{\min} \cdot (q_f - q_i)}{c}} = 0.268 v^2 = 0.021 V^2$$

dove  $c_{\max} = \frac{14}{v}$

Per quanto riguarda invece la limitazione della sovrappendenza del ciglio stradale si ha che:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{R_f \cdot 100 \cdot B_i \cdot (q_f - q_i)}{\Delta i_{\max}}}$$

in cui:

$$\Delta i_{\max} = \frac{18 \cdot B_i}{V}$$

$B_i$  = distanza tra l'asse rispetto al quale ruota la carreggiata ed il ciglio esterno;

$q_i, q_f$  = pendenze trasversali iniziali e finali;

$\Delta i$  = sovrappendenza massima del ciglio (%).

Sono di seguito elencate per ogni clotoide, i valori caratteristici e le verifiche sul parametro

A:

*Clotoide 1 profilo G-H (rettifilo-cerchio)*

R	20,00 m
Parametro A	19,36 m
$\varphi$	88,00°
Sviluppo	20,26 m
VERIFICHE PARAMETRO A	
Limitazione contraccollo	$A \geq A_{\min} = 12,36 \text{ m}$
Limitazione della sovrappendenza	$A \geq A_{\min} = 11,15 \text{ m}$

*Clotoide 2 profilo C-D (rettifilo-cerchio)*

R	544 m
Parametro $A_1$	526,46 m
$\varphi$	4,75°



Sviluppo	45,12 m
VERIFICHE PARAMETRO A	
Limitazione contraccollo	$A \geq A_{\min} = 336,11 \text{ m}$
Limitazione della sovrappendenza	$A \geq A_{\min} = 303,20 \text{ m}$

### 3.1.3 Andamento altimetrico – Raccordi verticali

Dopo aver disegnato le livellette per ogni tratto stradale delle intersezioni considerate, limitando quanto più possibile i movimenti di terra conseguenti, si è proceduto al tracciamento dei raccordi verticali parabolici, proposti dalle nuove Norme CNR. Di seguito sono elencate le livellette che vanno a comporre ciascun tratto stradale analizzato:

#### *Tratto A – B*

n° 1 livelletta,  $i = 1,8\%$   $l = 65,11 \text{ m}$

#### *Tratto C – D*

n° 1 livelletta,  $i = 1,8\%$   $l = 89,01 \text{ m}$

n° 1 livelletta,  $i = 7,0\%$   $l = 253,39 \text{ m}$

#### *Tratto E – F*

n° 1 livelletta,  $i = 4,6\%$   $l = 104,56 \text{ m}$

#### *Tratto G – H*

n° 1 livelletta,  $i = 9,4\%$   $l = 74,86 \text{ m}$

#### *Tratto I – L*

n° 1 livelletta,  $i = 8,0\%$   $l = 93,64 \text{ m}$

n° 1 livelletta,  $i = 2,0\%$   $l = 59,48 \text{ m}$

#### *Tratto M – N*

n° 1 livelletta,  $i = 4,3\%$   $l = 159,84 \text{ m}$

*Tratto O – P*

n° 1 livelletta,  $i = 3,0\%$   $l = 86,50$  m

n° 1 livelletta,  $i = 23,90\%$   $l = 216,35$  m

n° 1 livelletta,  $i = 7,0\%$   $l = 70,15$  m

Nei tratti composti da più livellette, per il collegamento tra quest'ultime, vengono inseriti dei raccordi verticali eseguiti con archi di parabola quadratica ad asse verticale che, rispetto al riferimento cartesiano con origine nel punto di inizio del raccordo stesso, hanno la seguente equazione:

$$y = ax^2 + bx$$

$$a = \frac{\Delta i}{100 \cdot 2L} = \frac{1}{2R_v}$$

$$L = R_v \cdot \frac{\Delta i}{100}$$

$$b = \frac{i_1}{100}$$

in cui:

$\Delta i$  = variazione di pendenza (%) delle livellette da raccordare

$R_v$  = raggio del cerchio osculatore nel vertice della parabola

In questo progetto i raccordi verticali sono stati eseguiti seguendo tutte le prescrizioni contenute nel D.M. 5/11/2001 nel capitolo concernente questo argomento.

I raccordi verticali devono seguire questi criteri:

- Assicurare il confort dell'utente;
- Assicurare le visuali libere necessarie per svolgimento e la sicurezza della marcia
- Assicurare che nessuna parte del veicolo (eccetto le ruote) abbia contatti con la superficie stradale;

*Tratto C – D* raccordo concavo

V=	100		
fe=	0,11		
i <sub>i</sub> =	0,018		
i <sub>f</sub> =	0,07		
Δi=	0,088		
Da=	33,53		
Lmin=	46,55	SACCA	Da < L
Rmin=	517,18	L=	46,80
		R=	520,00
		a =	0,0010
		b =	-0,02

*Tratto I – L* raccordo concavo

V=	100		
fe=	0,11		
i <sub>i</sub> =	0,08		
i <sub>f</sub> =	0,018		
Δi=	0,098		
Da=	39,25		
Lmin=	32,45	SACCA	Da < L
Rmin=	648,92	L=	42,50
		R=	850,00
		a =	0,0006
		b =	-0,08

*Tratto O – P* raccordo convesso

V=	100		
fe=	0,11		
i <sub>i</sub> =	0,03		
i <sub>f</sub> =	0,239		
Δi=	0,209		
Da=	52,90		
Lmin=	123,64	DOSSO	Da < L
Rmin=	591,57	L=	125,40
		R=	600,00
		a =	0,0008
		b =	-0,03

*Tratto O – P* raccordo concavo

V=	100		
fe=	0,11		
i <sub>i</sub> =	0,239		
i <sub>f</sub> =	0,07		
Δi=	0,169		
Da=	52,53		
Lmin=	83,01	DOSSO	Da < L
Rmin=	491,18	L=	103,94
		R=	615,00
		a =	0,0008
		b =	0,239

### 3.2 Le scelte progettuali

Data la geometria ed i tipi di strade che si intersecano, sono state progettate due *rotatorie gemelle* con diametro esterno rispettivamente di 40 m e 50 m.

Il criterio principale per definire la geometria delle rotatorie riguarda il controllo della deviazione delle traiettorie che attraversano l'intersezione; infatti per impedire che un'intersezione a rotatoria sia percorsa ad una velocità non adeguata, è necessario che i veicoli siano deviati per mezzo dell'isola centrale.

Vengono definite le dimensioni degli elementi modulari delle rotatorie secondo quanto indicato nella tabella seguente:

Elemento modulare	Diametro esterno rotatoria (m)	Larghezza corsie (m)
Corsie nella corona rotatoria, per ingressi ad una corsia	$\geq 40$	6,00
	$25 < D < 40$	7,00
	$14 < D < 25$	7,00 – 8,00
Corsie nella corona rotatoria per ingressi a più corsie	$\geq 40$	9,00
	$< 40$	8,50 – 9,00
Bracci in ingresso		3,50 – una corsia
		6,00 – due corsie
Bracci in uscita	$< 25$	4,00
	$\geq 25$	4,50

Tab. 3.1 Dimensioni elementi modulari delle rotatorie

Si riportano i principali elementi con le rispettive dimensioni:

#### Rotatoria 1

Diametro esterno	40,00 m
Larghezza anello	8,00 m
Larghezza banchina interna sormontabile	2,00 m
Diametro aiuola interna	24,00 m
Larghezza bracci di ingresso in rotatoria	3,50 m
Larghezza bracci di uscita da rotatoria	4,50 m
Raggio di curvatura braccio di ingresso in rotatoria SP 2 Orbetellana	21,00 m
Raggio di curvatura braccio di ingresso in rotatoria	25,00 m

Via Tramontana	
Raggio di curvatura braccio di uscita da rotatoria SP 2 Orbetellana	17,00 m
Raggio di curvatura braccio di uscita da rotatoria Via Tramontana	28,00 m

## Rotatoria 2

Diametro esterno	50,00 m
Larghezza anello	9,00 m
Larghezza banchina interna sormontabile	2,00 m
Diametro aiuola interna	32,00 m
Larghezza bracci di ingresso in rotatoria	3,50 m
Larghezza bracci di uscita da rotatoria	4,50 m
Raggio di curvatura braccio di ingresso in rotatoria SP 2 Orbetellana	30,00 m
Raggio di curvatura braccio di ingresso in rotatoria Via dell'Aquilino	30,00 m
Raggio di curvatura braccio di ingresso in rotatoria Strada Privata Cala Galera	25,00 m
Raggio di curvatura braccio di uscita da rotatoria SP 2 Orbetellana	27,00 m
Raggio di curvatura braccio di uscita da rotatoria Via dell'Aquilino	32,00 m
Raggio di curvatura braccio di uscita da rotatoria Strada Privata Cala Galera	21,50 m

Per la costruzione dell'isola direzionale si esegue semplicemente un offset verso l'interno del margine esterno della corsia, pari alla larghezza del braccio desiderata. L'unico accorgimento effettuato consiste nel rendere quanto più possibile tangente, con un opportuna rotazione attorno all'intersezione con il perimetro esterno della rotatoria, il margine dell'isola direzionale con l'asse della piattaforma a cui appartiene.

Con il procedimento illustrato si ottengono le seguenti dimensioni delle isole direzionali:

	Lunghezza (m)	Larghezza (m)
Isola direzionale relativa alla SP 2 Orbetellana	10,10	5,60
Isola direzionale relativa a Via Tramontana	12,20	7,30
Isola direzionale relativa a Via dell'Aquilino	18,30	10,60
Isola direzionale relativa alla Strada Privata Cala Galera	10,10	6,80
Isola direzionale relativa alla SP 2 Orbetellana	18,70	10,30

Alla pavimentazione della corona rotatoria sarà conferita una pendenza trasversale del 2.5% verso l'esterno, per un efficace smaltimento delle acque piovane.

La banchina interna ha una larghezza di 2,00 metri, sarà pavimentata con materiale diverso per garantirne un'opportuna percezione. Inoltre le sarà conferita una pendenza trasversale verso l'esterno del 4% e sarà delimitata da un cordolo sormontabile.

Questo per permettere, in casi di necessità, ai mezzi che hanno bisogno di maggiore spazio in curva per eseguire una svolta, di poterne usufruire. Contemporaneamente, si inibisce al transito la corrente veicolare standard.

L'aiuola centrale, delimitata da cordoli invalicabili, è arredata con bassa vegetazione erbacea per consentire una buona visuale nell'intersezione e simultaneamente dare una sua chiara percezione. Proprio in ragione di ciò è sagomata con una pendenza del 15%.

### 3.2.1 *Verifica della deviazione delle traiettorie*

Il criterio principale per definire la geometria delle rotatorie riguarda il controllo della deviazione delle traiettorie in attraversamento del nodo. Infatti, per impedire l'attraversamento di un'intersezione a rotatoria ad una velocità non adeguata, è necessario che i veicoli siano deviati per mezzo dell'isola centrale.

La valutazione del valore della deviazione viene effettuata per mezzo dell'angolo di deviazione  $\beta$ . Per determinare la tangente al ciglio dell'isola centrale corrispondente all'angolo di deviazione  $\beta$  bisogna aggiungere al raggio di entrata un incremento  $b$  pari a 3,50 m. Per ciascun braccio di immissione si raccomanda un valore dell'angolo di deviazione  $\beta$  di almeno 45°.

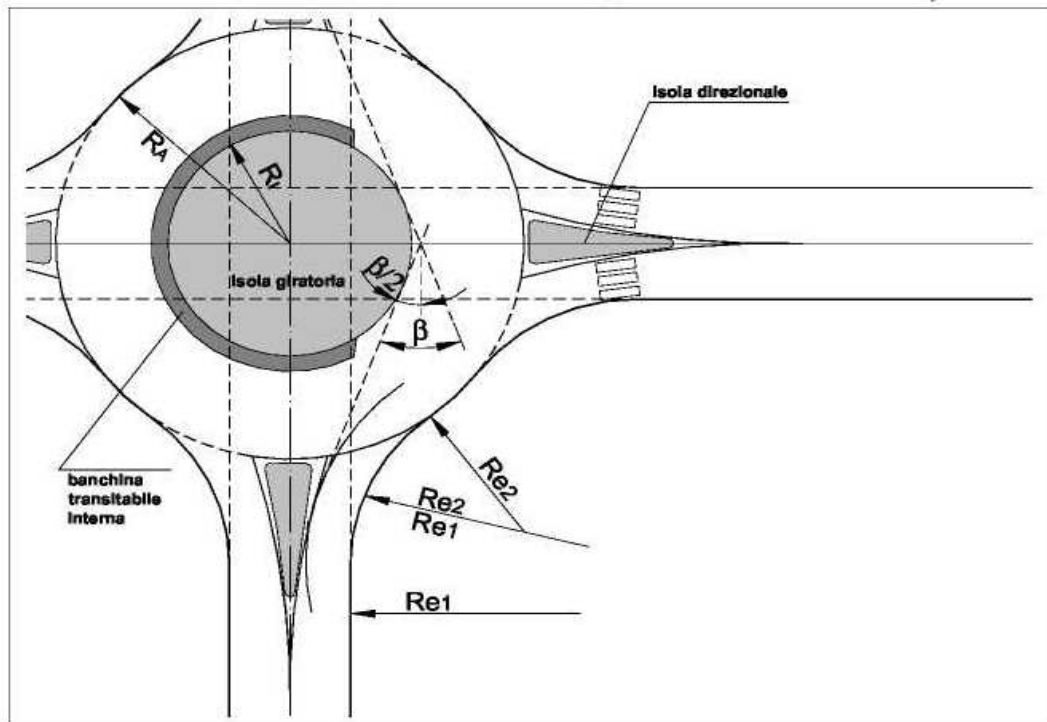
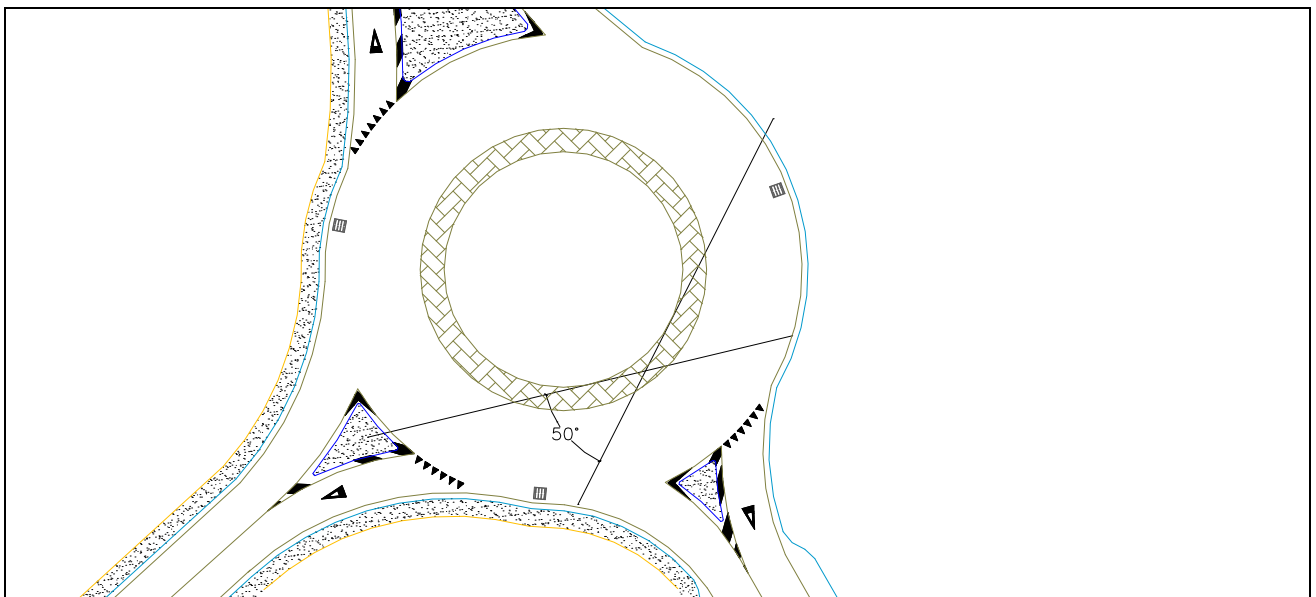
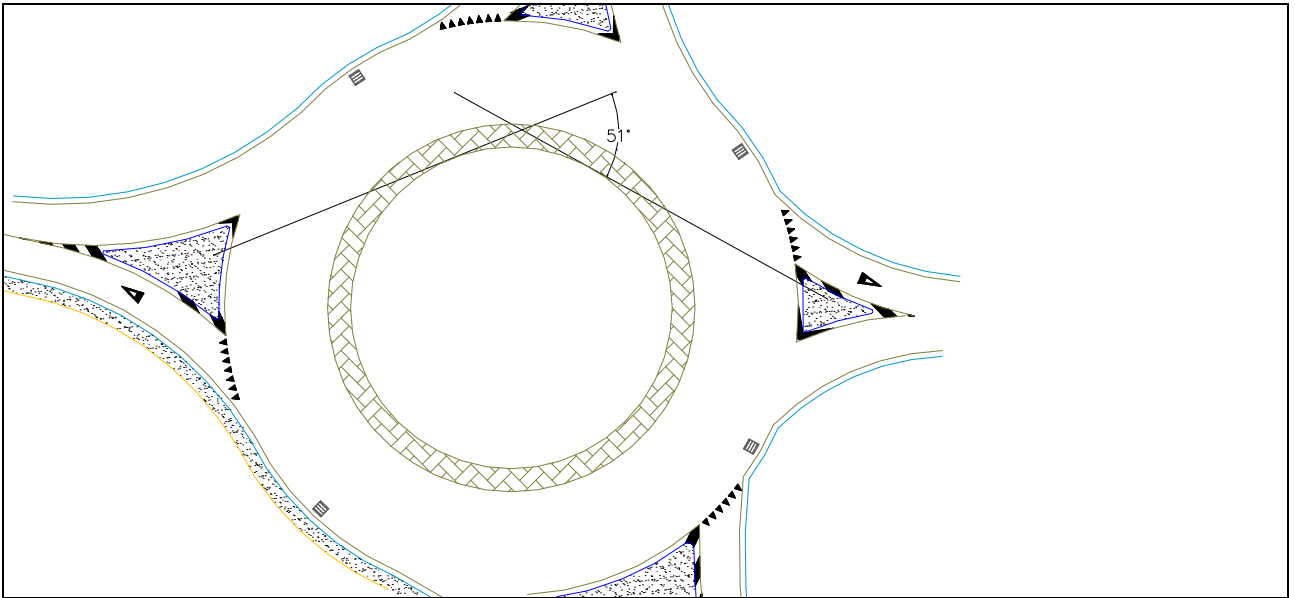
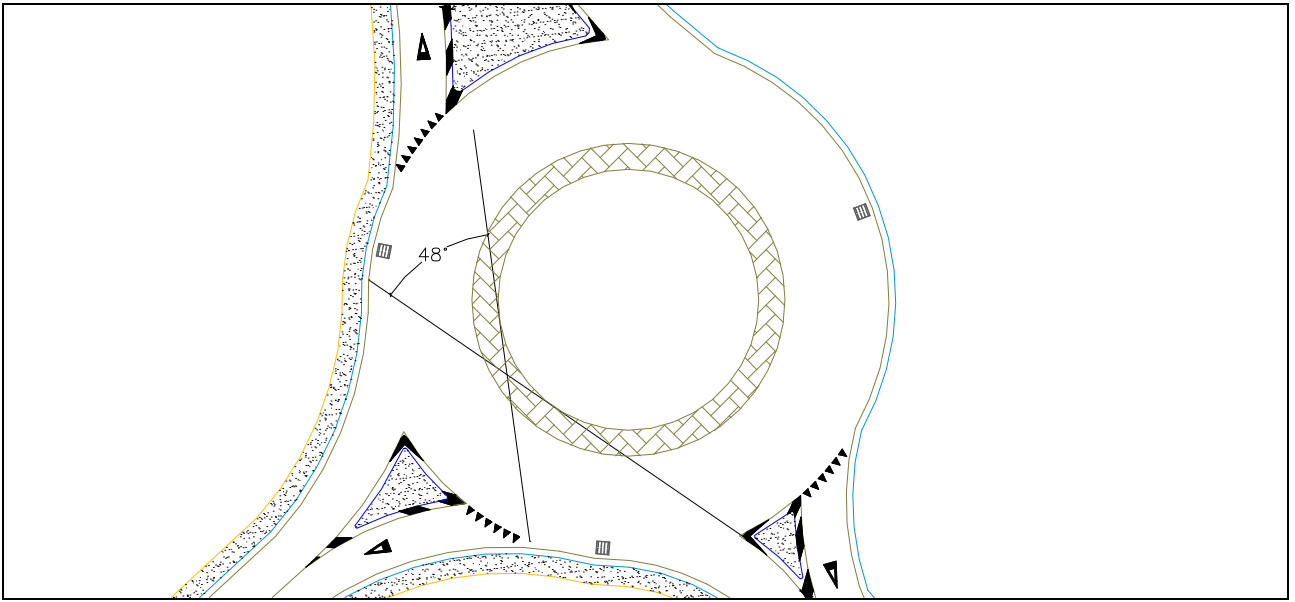


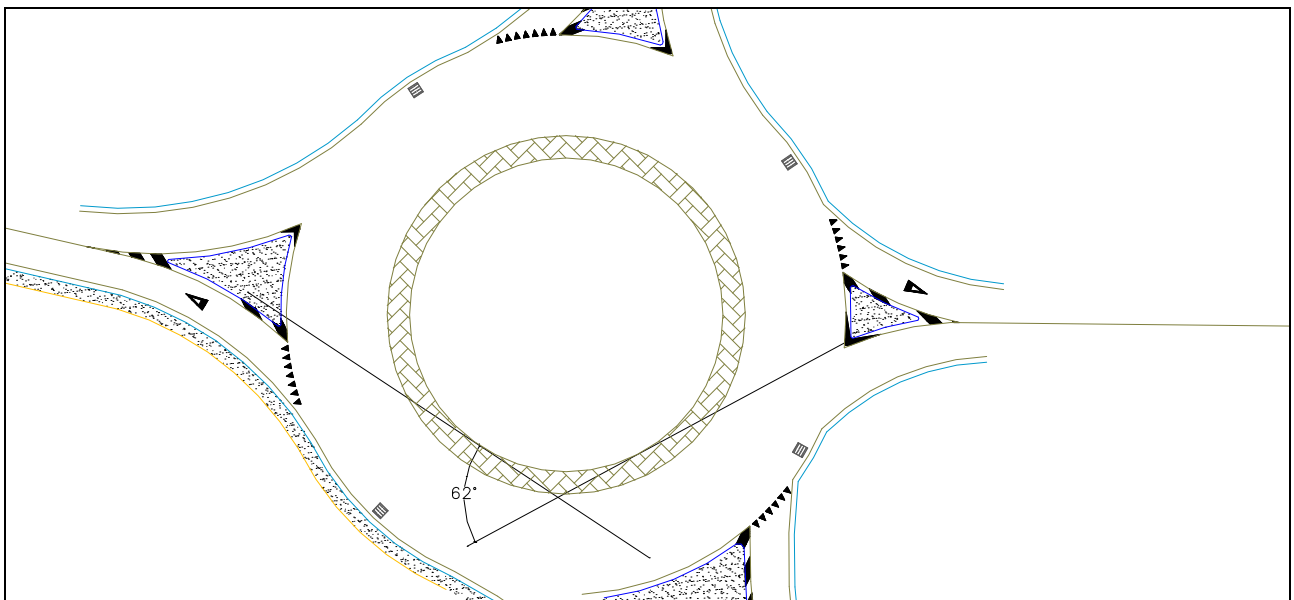
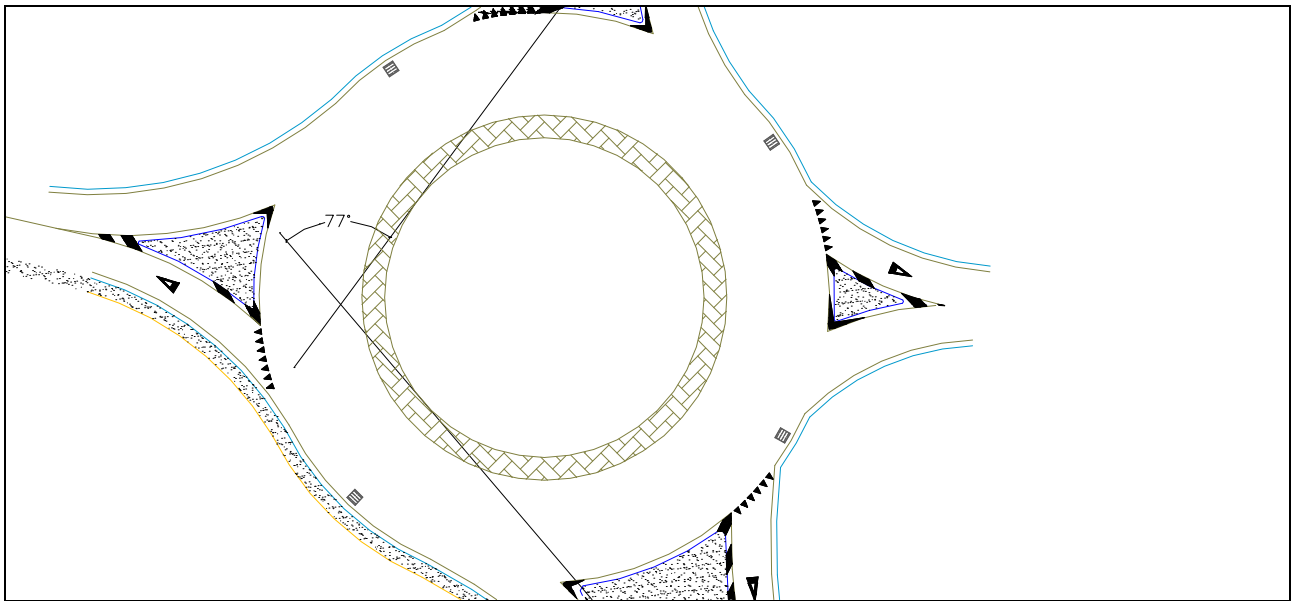
Fig. 3.2 Illustrazione angolo di deviazione in rotatoria

Di seguito vengono riportate le immagini relative alla verifica dell'angolo di deviazione per ogni braccio delle due rotatorie:









Nel caso in oggetto questa verifica non viene superata in due casi: sulla traiettoria di attraversamento dell'intersezione lungo la SP 2 Orbetellana si ha  $\beta = 30^\circ$  e  $\beta = 11^\circ$ .

### 3.2.2 *Verifica del raggio di deflessione*

In alternativa a quanto sopra riportato si effettua la verifica del raggio di deflessione della traiettoria del veicolo che percorre la rotatoria tra un dato ingresso e una data uscita. Un valore ridotto del raggio di curvatura impone ai conducenti di tenere velocità basse,

aspetto che sicuramente giova alla sicurezza. In generale si impone un raggio massimo di curvatura per ogni traiettoria inferiore a  $80 \div 100$  metri.

La costruzione della traiettoria si effettua secondo il seguente schema:

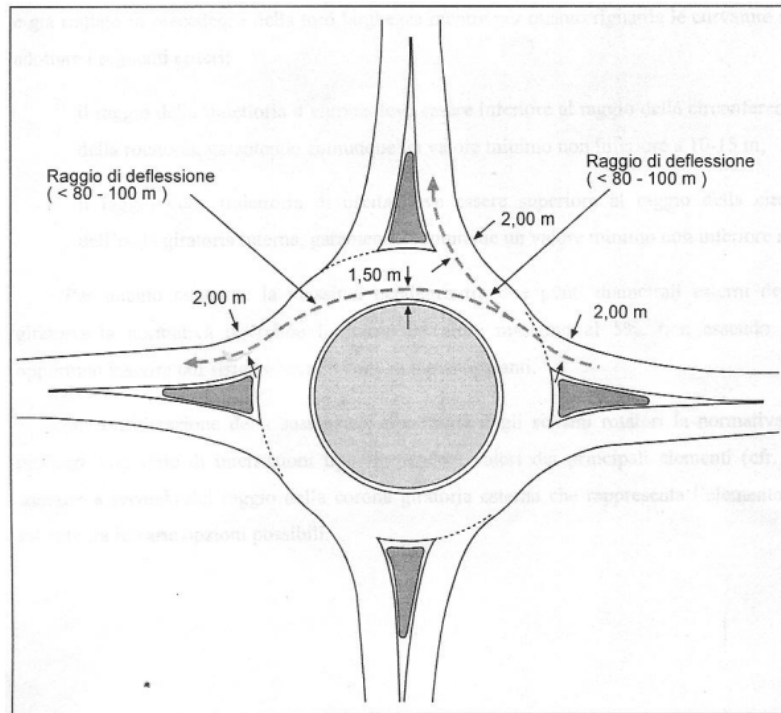
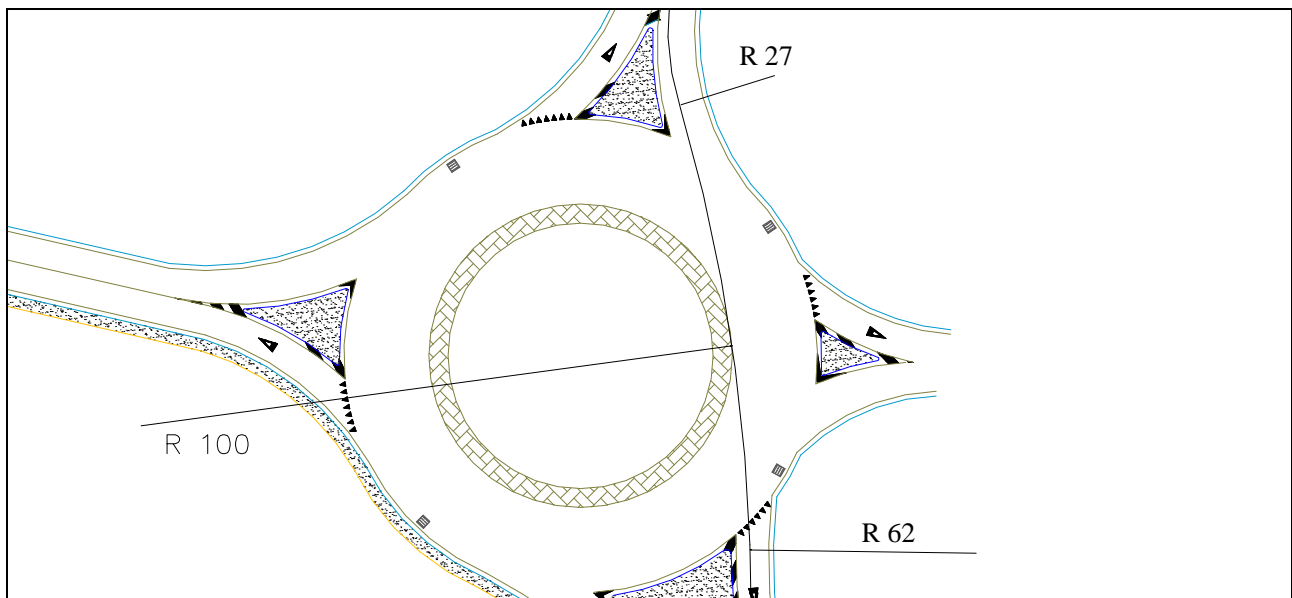
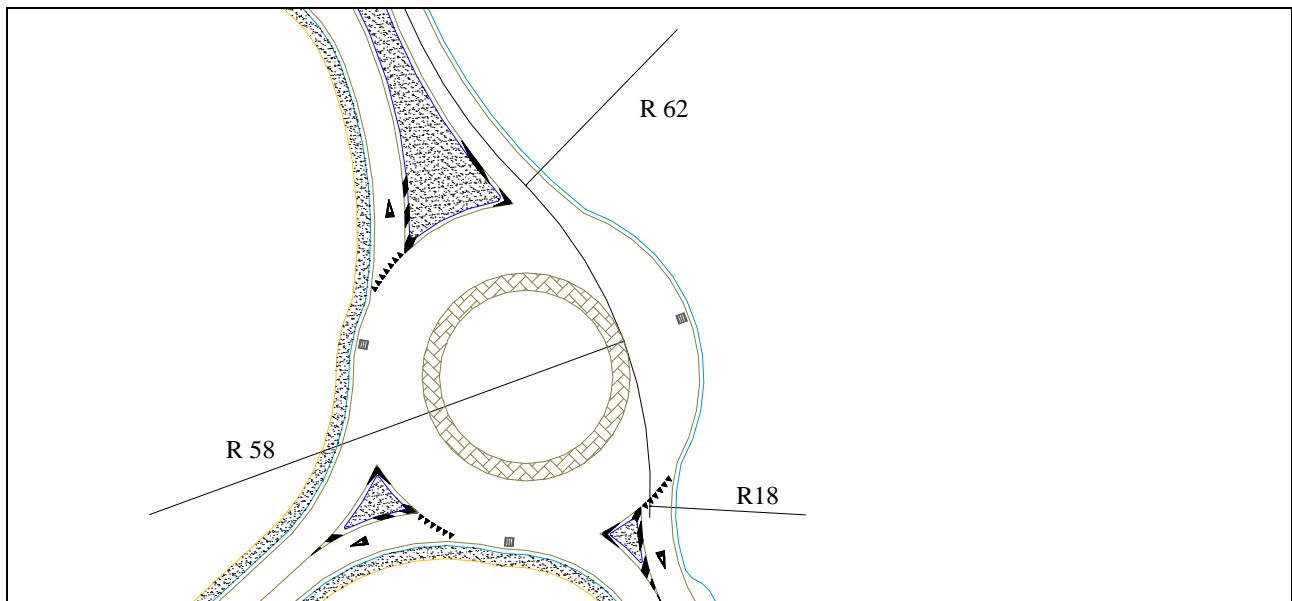


Fig. 3.3 Costruzione della traiettoria Verifica raggio di deflessione

Essendo nel nostro caso la banchina sormontabile, per ragioni di sicurezza poniamo il secondo punto della traiettoria di attraversamento a 1.50 metri dal margine dell'aiuola centrale.



Si nota come la verifica del raggio di deflessione sia ampiamente superata nelle rotatorie in oggetto in quanto il raggio di curvatura maggiore arriva a toccare i 100 metri.

### 3.3 *Visuali libere da garantire*

L'esistenza di opportune visuali libere costituisce primaria ed inderogabile condizione di sicurezza della circolazione, in particolare nelle zone di intersezione, dove si concentra il maggior numero dei punti di conflitto veicolare. Per *distanza di visuale libera* si intende "

la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé senza considerare l'influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e dell'illuminazione della strada". Nel caso di una rotatoria si deve, innanzitutto, garantire un adeguato spazio, libero da qualunque impedimento visivo, tra il veicolo in approccio all'intersezione e la linea del "dare precedenza" per consentire l'arresto del veicolo. E' importante inoltre che gli utenti che stanno giungendo in rotatoria, riescano a percepire i veicoli con precedenza all'interno della corona in tempo per modificare la propria velocità e quindi cedere il passaggio o eventualmente immettersi nell'anello. Lo studio normativo suggerisce di non considerare come ostacoli visivi gli elementi discontinui (come pali per l'illuminazione, segnaletica, alberi) aventi larghezza in orizzontale inferiore a 0,80 metri. Un'ulteriore visuale libera da garantire è quella relativa ai veicoli che percorrono la rotatoria; essa si riferisce sia alla distanza di arresto per la presenza di oggetti o altri veicoli presenti nell'anello, sia alla distanza di visibilità per prevedere l'ingresso di altri veicoli. Questa fascia di visibilità incide sull'arredo dell'isola centrale, in particolare nelle rotatorie di piccole dimensioni. In ogni caso non devono essere posti ostacoli visivi (come alberi) a meno di 2 metri dal bordo dell'isola centrale o, in assenza di bordatura sormontabile, a 2,50 metri dalla linea di demarcazione dell'isola centrale.

Le varie verifiche delle opportune visuali libere da garantire sono qui riassunte:

- Verifica della distanza di visibilità per l'arresto nel ramo di ingresso in rotatoria; nel caso in cui prima della linea d'arresto ci sia un attraversamento pedonale, la distanza di visibilità va calcolata con riferimento a quest'ultimo.



Fig. 3.4 - Distanza di visibilità per l'arresto da garantire nel ramo di ingresso in rotatoria

- Verifica della visibilità dell'intersezione. Nel caso di un'intersezione a 4 o più bracci, la zona necessaria per la visibilità corrisponde al quarto di corona giratoria. Nel caso di tre bracci la zona si deve estendere fino all'innesto viario più prossimo a sinistra.

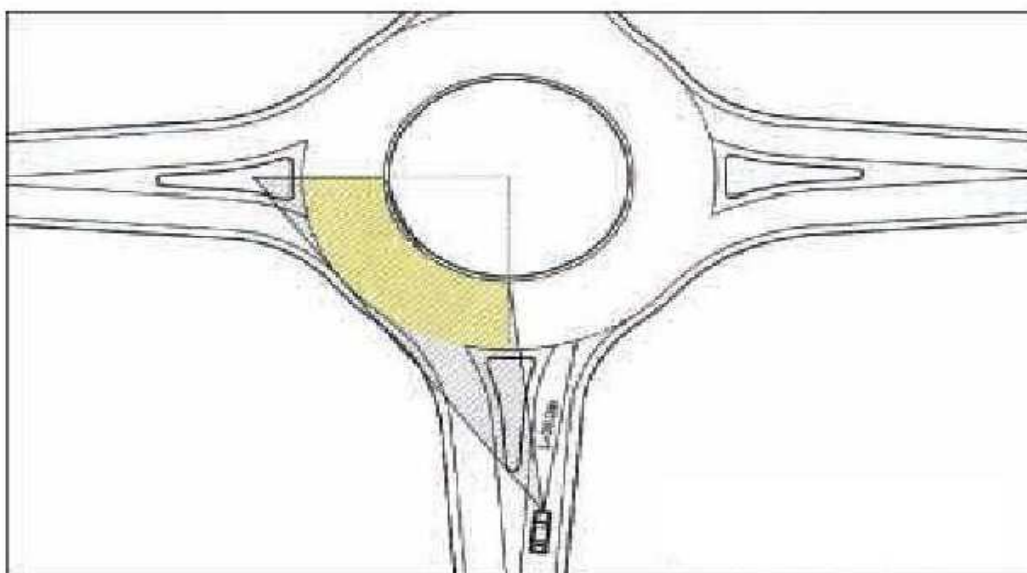


Fig. 3.5 - Visibilità della rotatoria, caso con quattro bracci

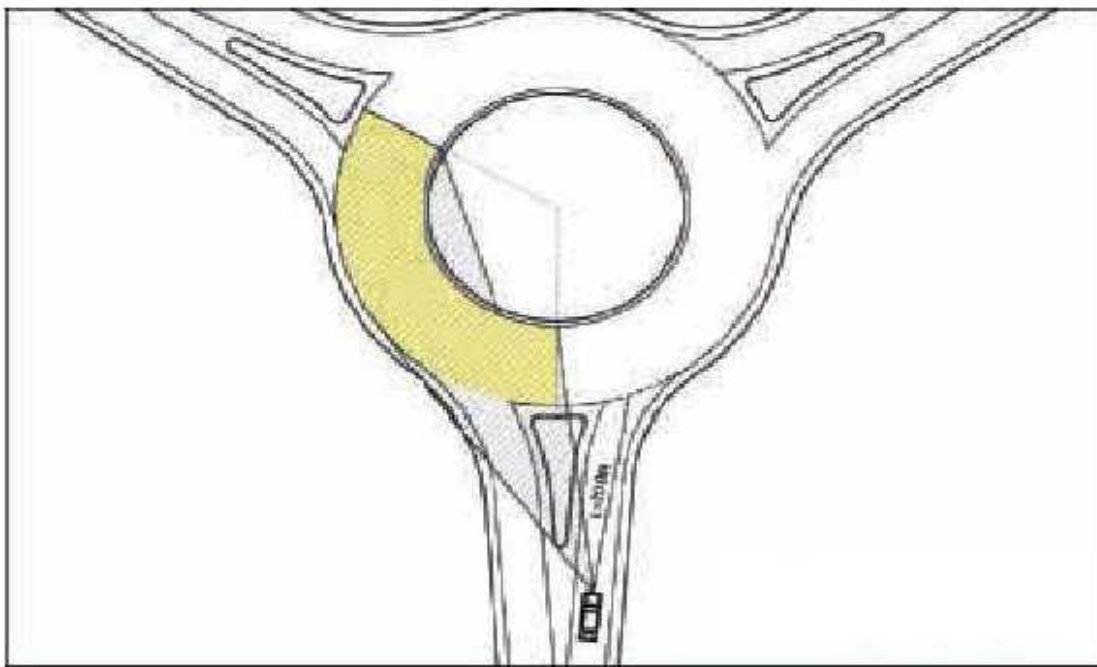


Fig. 3.6 - Visibilità della rotonda, caso con tre bracci

- Verifica della visibilità nella circolazione lungo l'anello. La visuale si riferisce sia alla distanza di arresto per la presenza di oggetti o altri veicoli presenti nell'anello, sia alla distanza di visibilità per prevedere l'ingresso di altri veicoli. Questa fascia di visibilità incide sull'arredo dell'isola centrale, in particolare nelle rotonde di piccole dimensioni. In ogni caso non devono essere posti ostacoli visivi (come alberi) a meno di 2 metri dal bordo dell'isola centrale o, in assenza di bordatura sormontabile, a 2,5 metri dalla linea di demarcazione dell'isola centrale.

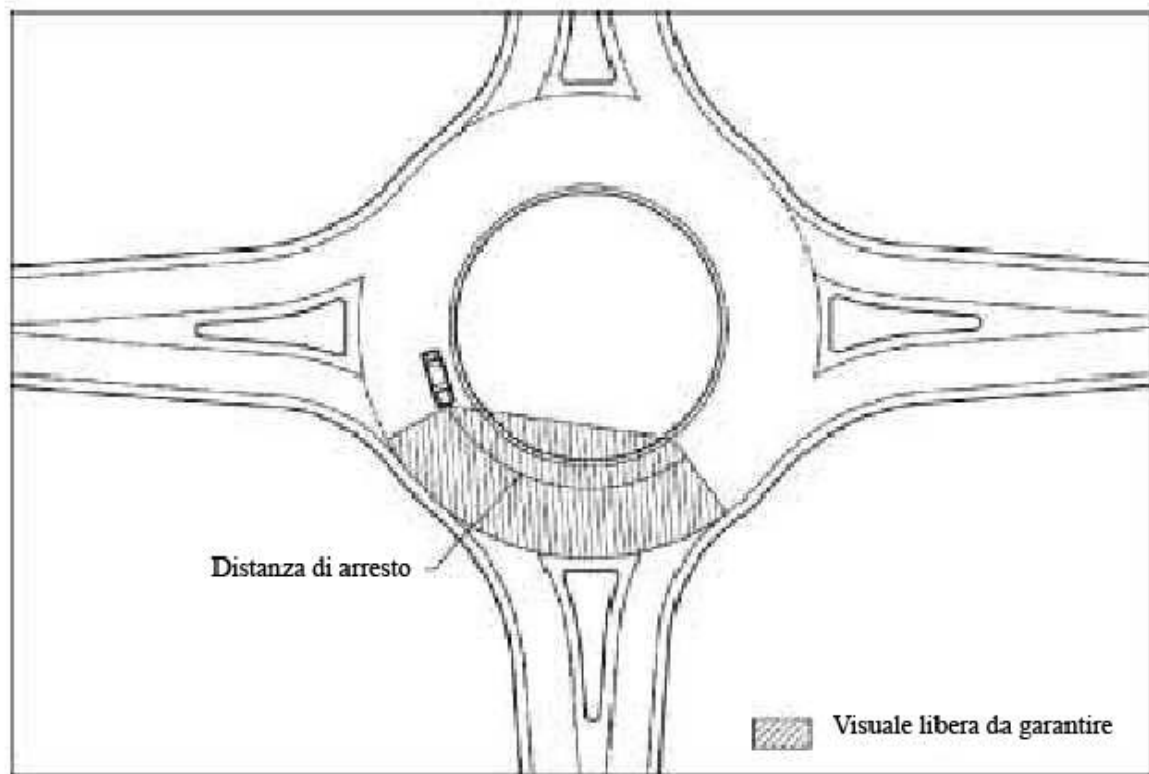


Fig. 3.7 - Distanza di visibilità nella circolazione lungo l'anello

### 3.3.1 Verifica di visibilità per l'arresto nel ramo in ingresso in rotatoria

Nel corso delle verifiche che ci apprestiamo a condurre necessitiamo di poter calcolare la distanza di arresto. Il metodo di calcolo usato è il seguente:

$$D_a = v \cdot \tau + \frac{v^2}{2g \cdot (f_e \pm i)}$$

Dove:

- $v$  (m/s) indica la velocità
- $\tau$  (s) indica il tempo di percezione e reazione
- $g$  (m/s<sup>2</sup>) indica l'accelerazione di gravità
- $f_e$  è il coefficiente di aderenza equivalente
- $i$  indica l'eventuale pendenza longitudinale della piattaforma (nel nostro caso nulla)
- I valori di  $f_e$  si ottengono da opportune tabelle in funzione della velocità.
- Per quanto riguardo  $\tau$ , è noto che è un parametro distribuito sulla popolazione di

utenti, ma essendo necessario riferirsi a un valore caratteristico si fa riferimento alla seguente formula empirica:

$$\tau = 2.8 - 0.01 \cdot V$$

- in cui  $V$  è la velocità tenuta dal conducente espressa in km/h.

Di seguito sono riportati i valori caratteristici dei due parametri ora descritti, in funzione della velocità, e la distanza di arresto risultante, calcolata secondo la formulazione sopra esposta:

VELOCITA' (km/h)	$\tau$ (s)	$f_e$	$D_A$ (m)
100	1.8	0.35	162.4
90	1.9	0.36	136.0
80	2.0	0.38	110.7
70	2.1	0.40	89.0
60	2.2	0.43	69.6
50	2.3	0.46	53.3
40	2.4	0.48	39.8
30	2.5	0.51	27.8

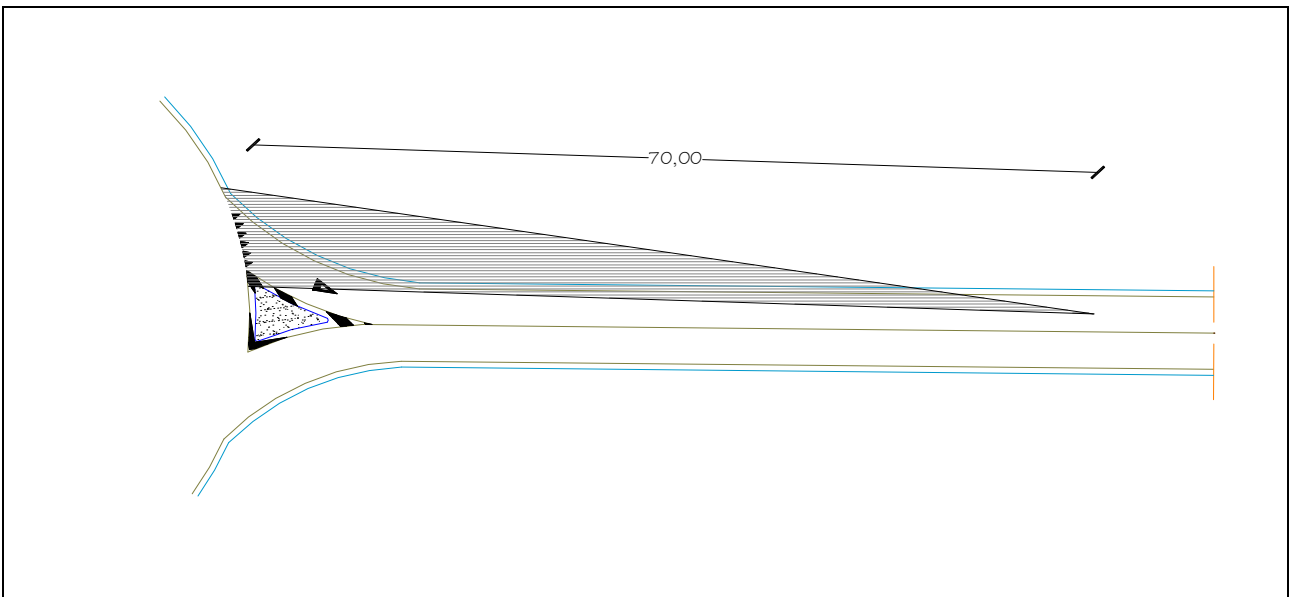
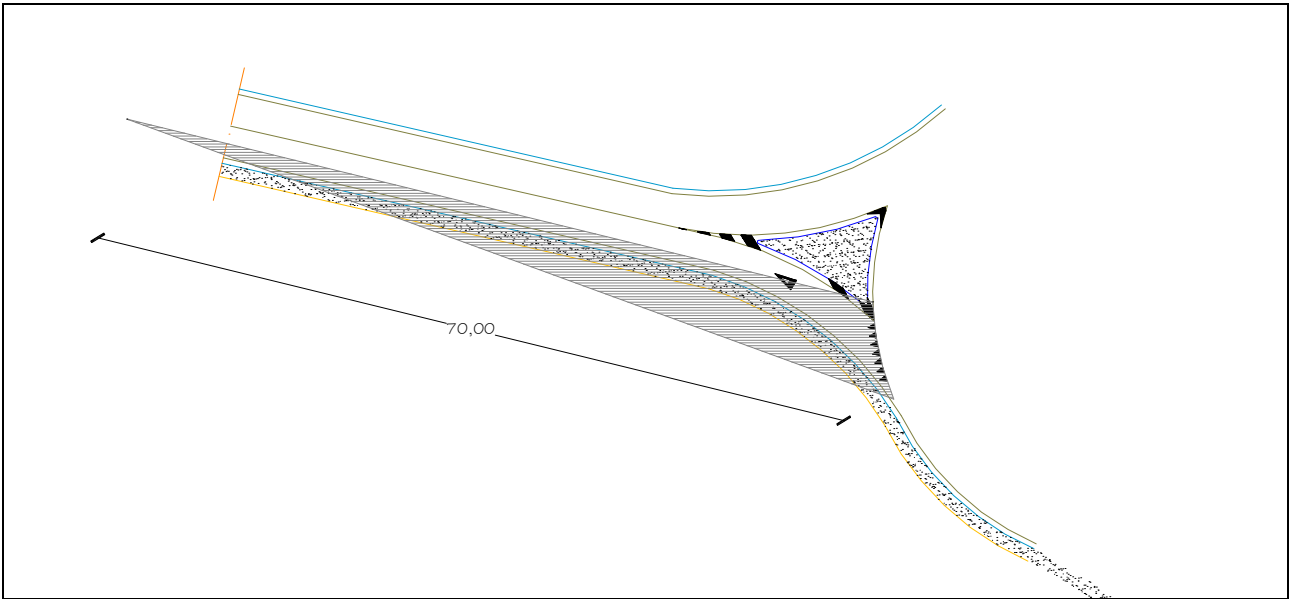
Tab. 3.4 Parametri per la determinazione di  $D_a$

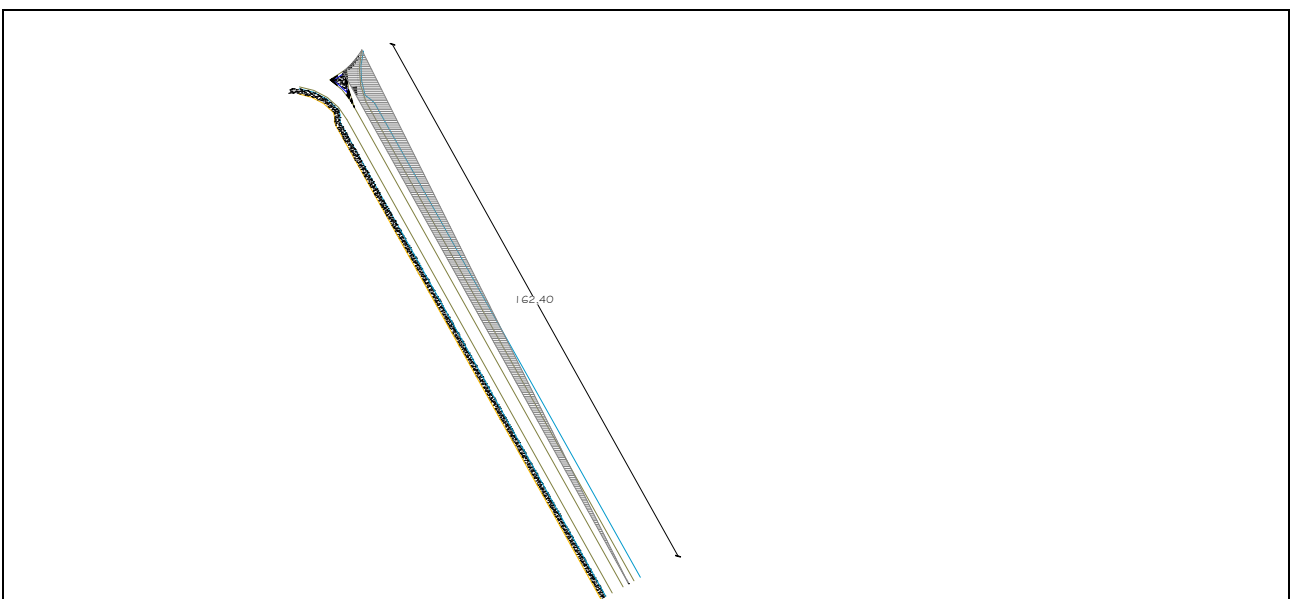
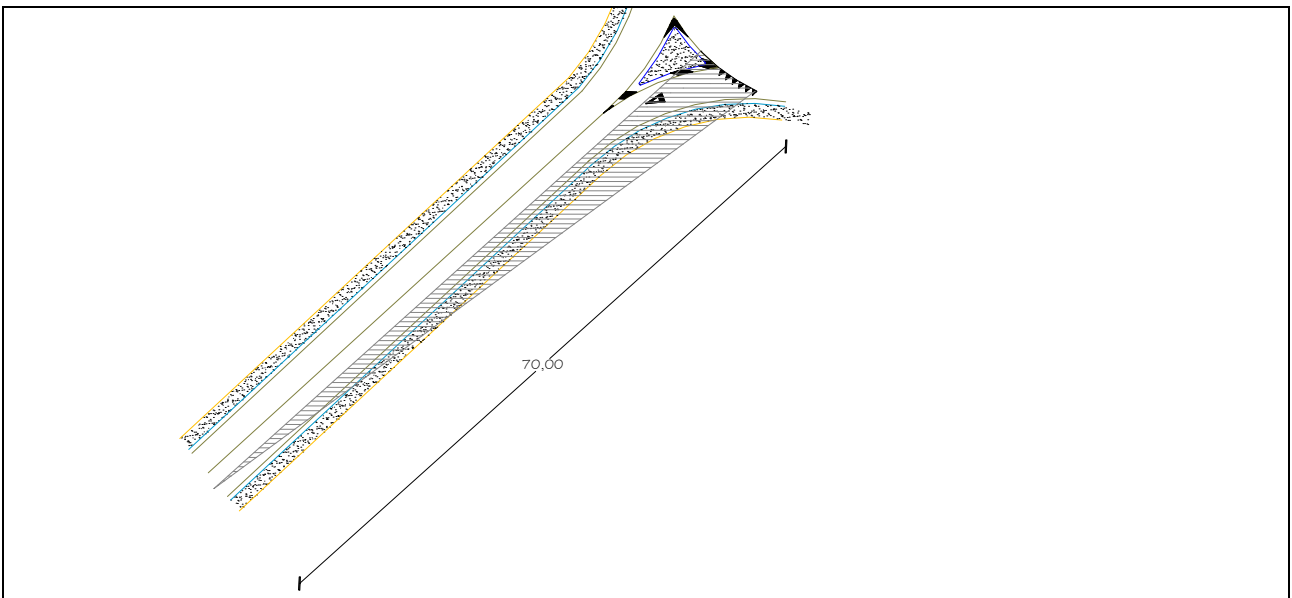
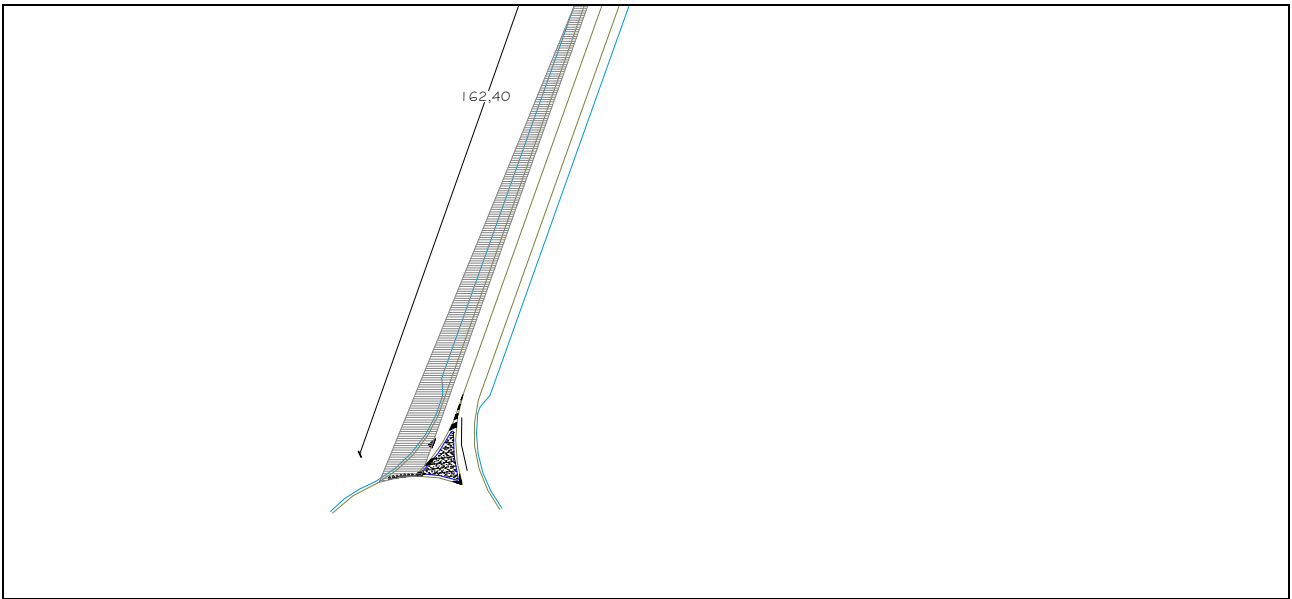
Come detto precedentemente si deve, innanzitutto, garantire un adeguato spazio, libero da qualunque impedimento visivo, tra il veicolo in approccio all'intersezione e la linea del "dare precedenza" per consentire l'arresto del veicolo. Nel caso in cui prima della linea d'arresto ci sia un attraversamento pedonale, la distanza di visibilità va calcolata con riferimento a quest'ultimo.

- In tal caso consideriamo per i due bracci relativi alle strade caratterizzate da  $V = V_{P \max} = 60$  km/h ottenendo così una  $D_A = 69.6$  metri, approssimati a 70 metri.
- Per quanto riguarda i bracci relativi alle strade caratterizzate da  $V = V_{P \max} = 100$  km/h calcolando una  $D_A = 162.4$  metri.

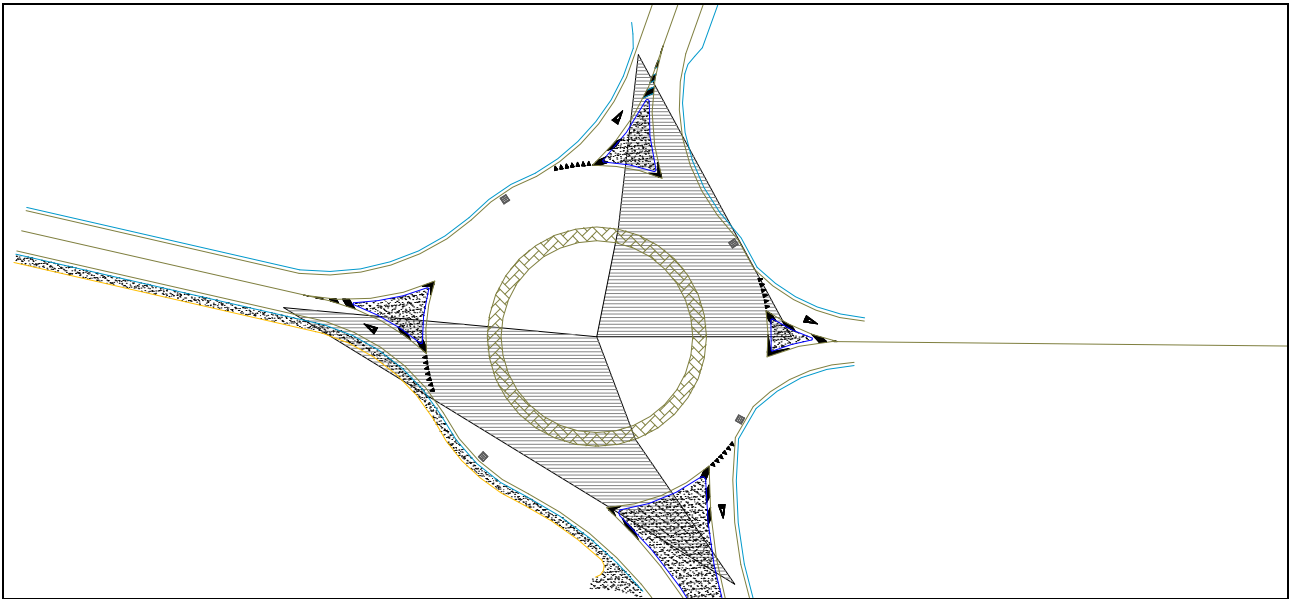
Nelle immagini seguenti sono riportati solo i casi relativi alle strade sopra descritte:





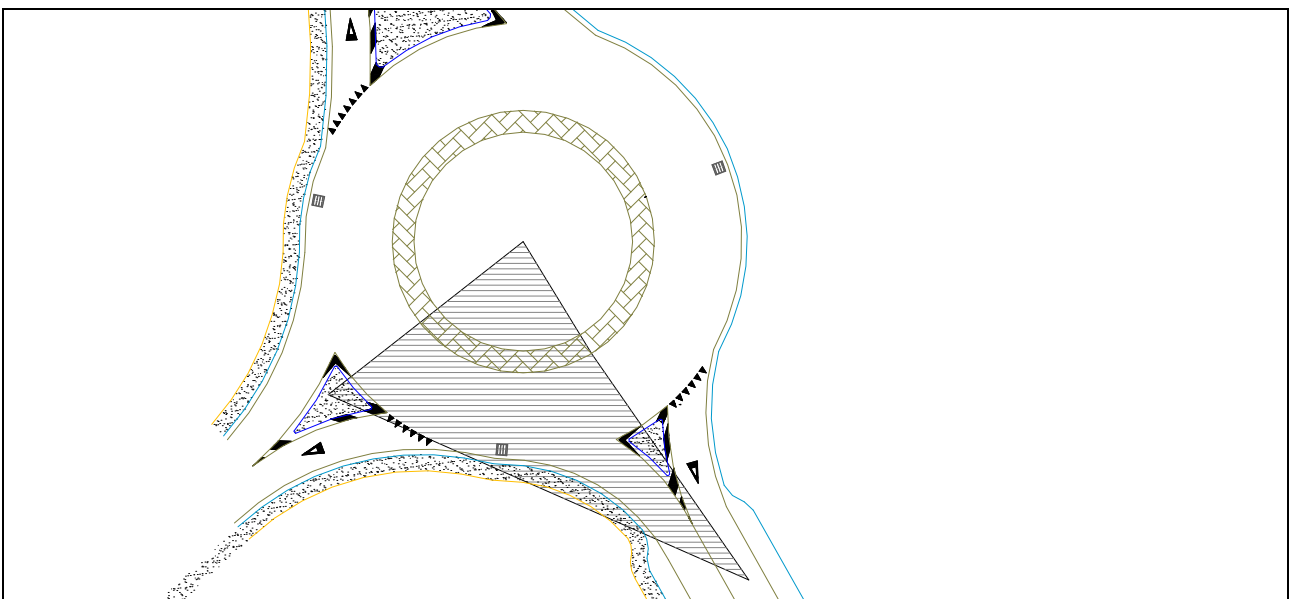


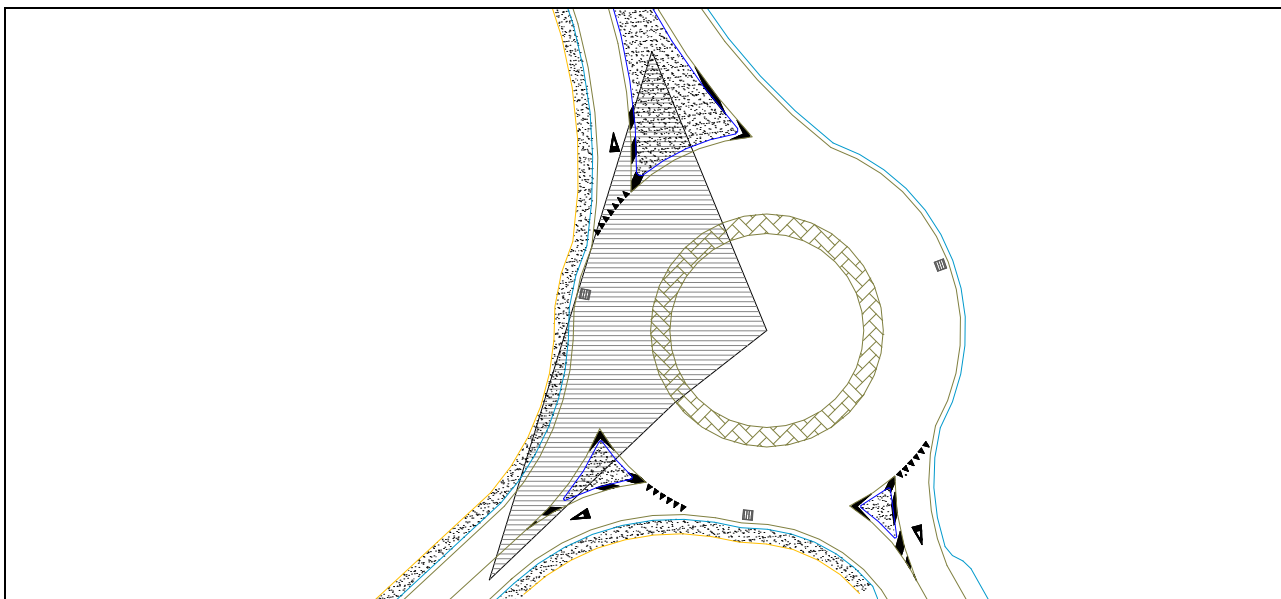




nel caso di 4 o più bracci, la zona di cui è necessaria la visibilità completa corrisponde al quarto di corona giratoria posta alla sinistra del canale di accesso considerato.

Di seguito è riportata l'immagine che illustra la verifica per la rotatoria 2:





### 3.3.3 *Verifica di visibilità nella circolazione lungo l'anello*

Un'ulteriore visuale libera da garantire è quella relativa ai veicoli che percorrono la rotatoria. La posizione planimetrica del veicolo è a 2 m dal bordo interno dell'isola centrale. La quota del punto di vista è a 1,10 m e l'oggetto da rilevare a una quota di 0,10 m poiché, in questo caso, è necessario rilevare qualsiasi ostacolo presente sull'anello.

Per il calcolo di  $D_A$  si utilizza il procedimento già esplicitato, utilizzando in questo caso, a favore di sicurezza, la massima velocità raggiungibile nella corona rotatoria ( $V = 35 \text{ km/h}$ ).

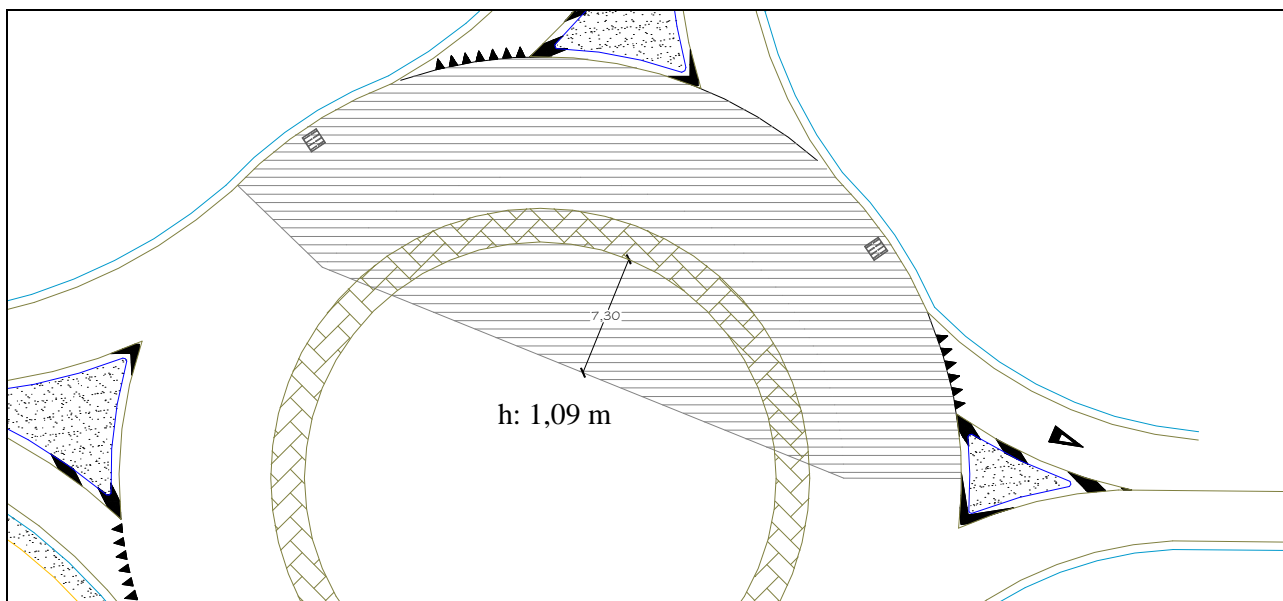
In base a questa velocità ricaviamo i seguenti valori:

$$\tau = 0.45 \text{ secondi}$$

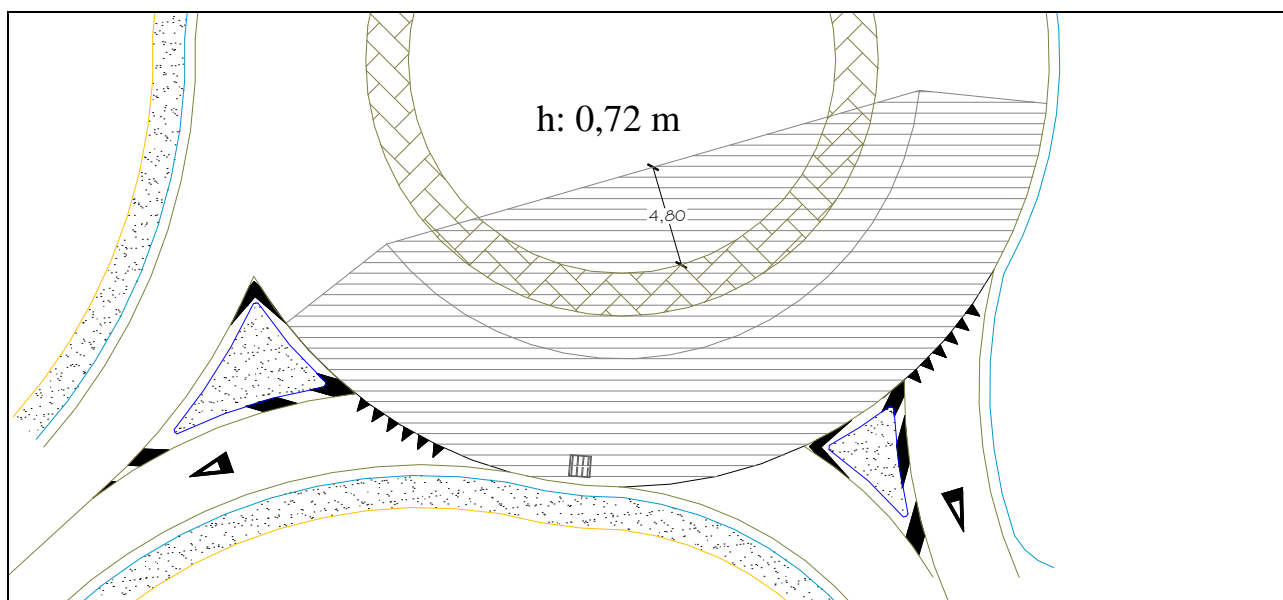
$$f_e = 0.50$$

Applicando il criterio già visto si ottiene una  $D_A = 33.4$  metri.

Nella figura seguente relativa alla rotatoria 1 si nota come la linea di visuale sechi l'aiuola per 7,30 metri. La visuale sarà libera se l'aiuola sarà alta meno di 1.10 metri. Sagomando l'aiuola con una pendenza del 15% si vede come, in corrispondenza dei 7,30 metri, essa sia alta 1,09 metri. Pertanto la verifica è superata.



Nella figura seguente relativa alla rotatoria 2 si nota come la linea di visuale sechi l'aiuola per 4,80 metri. La visuale sarà libera se l'aiuola sarà alta meno di 1.10 metri. Sagomando l'aiuola con una pendenza del 15% si vede come, in corrispondenza dei 4,80 metri, essa sia alta 0,72 metri. Pertanto la verifica è superata.



## Intersezione a "T"

### 4.1 *L'intersezione studiata*

In questa tesi viene progettata la realizzazione di una nuova intersezione a "T" caratterizzata da isole triangolari e isola a "goccia" centrale per facilitare il convogliamento dei flussi veicolari, in sostituzione all'esistente intersezione a "T" regolata solo dal segnale di STOP e priva di corsia di accumulo per la svolta a sinistra.

#### 4.1.1 *Elementi geometrici delle intersezioni a raso*

I principali elementi che compongono le tradizionali intersezioni a raso sono le corsie specializzate, destinate ai veicoli che si accingono ad effettuare le manovre di svolta a destra ed a sinistra in modo tale da non arrecare eccessivo disturbo alla corrente di traffico sulla strada principale. Queste possono essere in entrata (o di immissione), in uscita (o di diversione) e di accumulo per la svolta a sinistra. Di seguito viene riportata una tabella indicante le modalità di utilizzo di tali corsie nelle tradizionali intersezioni a raso e a livelli sfalsati:

Tipo di strada principale	Corsia di uscita (o diversione)	Corsia di entrata (o immissione)	Corsia di accumulo per svolta a sinistra
Strade extraurbane			
A	Obbligatoria	Obbligatoria	Non ammessa
B	Obbligatoria	Obbligatoria	Non ammessa
C	Ammessa	Non ammessa	Ammessa
F	Ammessa	Non ammessa	Ammessa
Strade urbane			
A	Obbligatoria	Obbligatoria	Non ammessa
D	Ammessa	Ammessa	Non ammessa

E	Ammessa	Ammessa	Ammessa
F	Ammessa	Ammessa	Ammessa

Tab. 4.1 Modalità di utilizzo delle corsie nelle intersezioni

Come indicato nella tabella precedente, per la Strada Provinciale 2 Orbetellana sono ammesse le corsie di accumulo e di decelerazione ma non quella di immissione. La Normativa inoltre stabilisce le larghezze minime dei dispositivi aggiuntivi da inserire nella strada principale per compiere le svolte a destra o a sinistra come riportato nella tabella seguente:

Elemento modulare	Strade extraurbane		Strade urbane	
	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)
Corsie destinate alle traiettorie passanti	Nei casi ammessi	(*)	Nei casi ammessi	(*)
Corsie specializzate di uscita	C	3,50	E	3,00
	F	3,25	F	2,75
Corsie specializzate per l'accumulo in mezzzeria	C	3,25	E	3,00
	F	3,00	F	2,75

Tab. 4.2 Larghezza corsie nelle intersezioni

Nel caso in esame si può notare che la larghezza delle corsia di accumulo per la svolta a sinistra è pari a 3,50 m.

#### 4.1.2 *Isola a goccia e isole triangolari*

La costruzione geometrica dell'isola a goccia è il passo iniziale del progetto di una intersezione, in base alla quale vengono inseriti gli elementi relativi alle singole corsie, alle isole direzionali e alle corsie specializzate per decelerazione e accelerazione.

Principali funzioni dell'isola a goccia:



- interrompere l'impressione di continuità della strada percorsa con obbligo di precedenza o stop;
- indurre al rallentamento o all'arresto dei veicoli;
- determinare le traiettorie di immissione o attraversamento della strada principale;
- migliorare la percezione dell'incrocio per gli utenti della strada principale;
- imporre le traiettorie in uscita dalla strada principale.

La costruzione dell'isola a goccia sulla strada secondaria si basa su un triangolo di "costruzione", rispetto al quale si riportano i raggi di svolta a sinistra in entrata ed in uscita rispetto alla strada principale. Le dimensioni geometriche del triangolo dipendono dalla larghezza della strada secondaria e da un segmento parallelo all'asse di mezzzeria della secondaria ad una distanza di 0,5 m che favorisce le svolte a sinistra in uscita dalla stessa. Questo fatto distingue l'isola a goccia per la sua marcata asimmetria.

Per la costruzione delle isole direzionali è stato usato il seguente criterio:

- si traccia la parallela all'asse della secondaria (Strada Privata Marina Cala Galera) a distanza 0.5 metri ;
- ortogonalmente a essa si misura un segmento  $b_1 = 0.55 \cdot L$  lato uscita e uno  $b_2 = 1.45 \cdot L$  lato immissione, con L pari alla larghezza della secondaria banchina esclusa (  $L = 7,00$  metri);
- sull'asse della secondaria si individua un punto a distanza  $H = 4 \cdot L =$  dall'intersezione tra l'asse della secondaria e il margine della corsia esterna della principale, definendo con i due punti individuati in precedenza il triangolo da cui si otterrà l'isola a goccia
- si traccia la tangente al triangolo e al margine interno della corsia della principale in cui ci si vuole immettere: in particolare avremo

$$R_{iu} = 2 \cdot L = 13 \text{ metri e } R_{ie} = 2L + L_{\text{corsia accumulo}} = 16 \text{ metri;}$$

- l'apice della goccia è smussato con un tratto di raccordo di  $R = 1$  metro;
- la parte iniziale dell'isola a goccia viene arrotondata con due raggi  $R_e = 16 \cdot L = 104$  metri e  $R_u = 8 \cdot L = 52$  metri;
- si effettua un offset di 4 metri di entrambi i lati della goccia, andando a definire così le corsie dell'intersezione, di larghezza 4 metri per consentire una più agevole manovra a mezzi pesanti quali autobus, mezzi di soccorso, mezzi della nettezza urbana etc... tipici dell'ambiente urbano in cui stiamo progettando;
- nel lato dell'immissione si inserisce la tricentrica di entrata si raccorda all'offset del tratto rettilineo, facendo attenzione a raccordare la sua parte terminale con l'inizio della corsia di immissione;
- nel lato di uscita, per problemi di spazio, la tricentrica di uscita collega direttamente la corsia della Strada Provinciale 2 Orbetellana con il tratto rettilineo del margine esterno della corsia della secondaria;
- eseguendo un offset di 4 metri nel lato interno della tricentrica si possono definire anche le isole triangolari per la completa costruzione dell'intersezione a raso.

Specularmente alla corsia di accumulo per la svolta a sinistra la piattaforma dovrà restringersi. Il tratto di raccordo di lunghezza  $L_r$  sarà inserito a partire dalla corsia specializzata per l'uscita nel suo senso di sviluppo.

Per completare la realizzazione dell'isola a goccia e delle isole triangolari ad essa vicine si utilizza un manufatto materializzato e non transitabile consistente in cordoli di tipo semi-sormontabile per non ostacolare le possibili traiettorie anomale ed eccezionali di veicoli pesanti.

#### 4.1.3 Dimensionamento della curva tricentrica

Per la geometria di connessione tra la strada secondaria e la strada principale è stata adottata una curva tricentrica, asimmetrica tra i bordi di entrata e di uscita, caratterizzata dalla successione di tre circonferenze di raggio  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ . I valori dei raggi devono essere correlati dalla seguente relazione:

$$R_1 : R_2 : R_3 = (2-3) : 1 : (3-6)$$

Inoltre gli angoli al centro degli archi di circonferenza utilizzate devono rispettare la seguente relazione:

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = \delta$$

$$\alpha_1 = \alpha_3$$

$$\alpha_2 = 5,5 \alpha_1$$

in cui  $\delta$  è l'angolo di deviazione della tricentrica.

Nel caso del progetto qui illustrato sono stati usati due tipi di curve tricentriche, di dimensioni diverse.

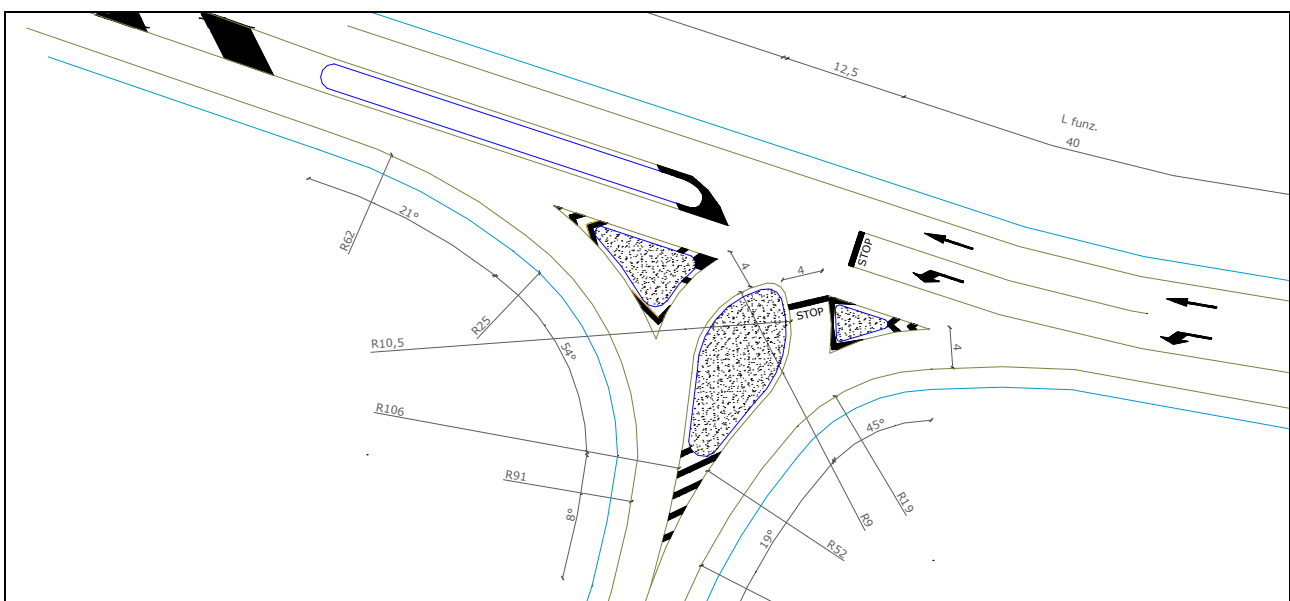


Fig. 4.3 Intersezione a raso con isola a goccia

#### 4.1.4 Corsia di accumulo

La corsia di accumulo è composta da quattro tratti:

- tratto di raccordo  $L_{\text{racc.}}$
- tratto di manovra (geometrico)  $L_{\text{geom.}}$
- tratto di decelerazione (cinematico)  $L_{\text{cin.}}$
- tratto di accumulo (funzionale)  $L_{\text{funz}}$

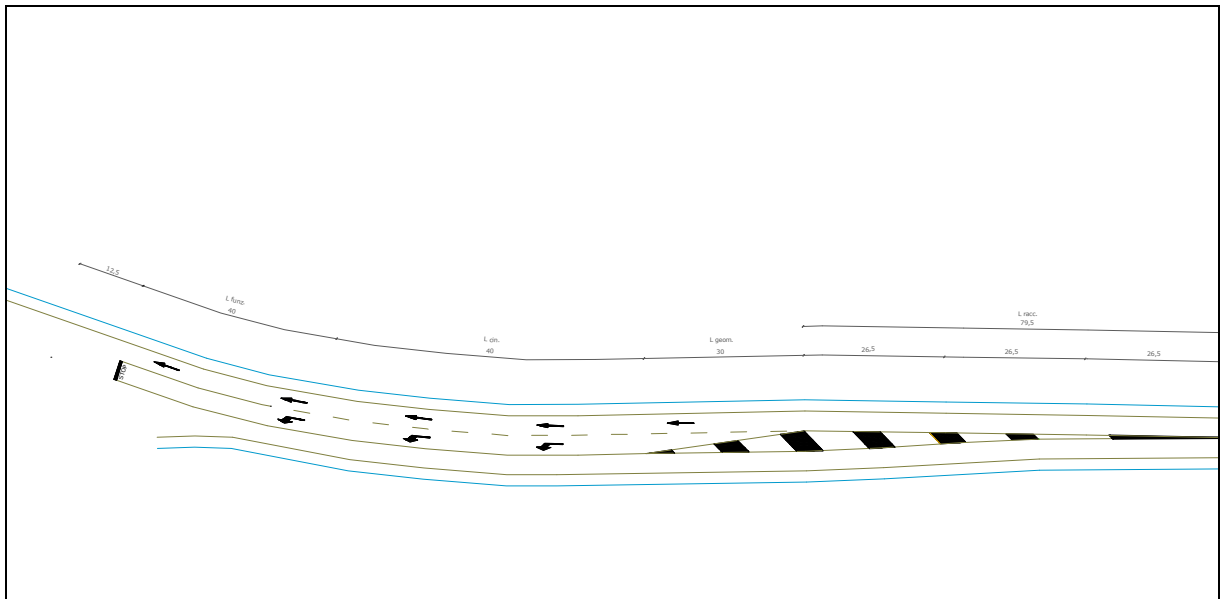


Fig. 4.4 Corsia di accumulo

I primi tratti vengono dimensionati attraverso criteri cinematici, mentre il quarto tratto viene valutato in relazione al numero di veicoli in attesa secondo quanto prescritto dalla *Teoria delle code*. La lunghezza del tratto di raccordo è data dalla formula seguente:

$$L_{\text{racc.}} = 0,6V_p\sqrt{d}$$

dove  $V_p$  è la velocità di progetto massima della strada su cui viene realizzata la corsia (100 Km/h),  $d$  è lo scostamento dell'asse stradale ovvero la distanza tra l'asse stradale e il

bordo della corsia di accumulo. Avendo realizzato la corsia di accumulo a cavallo dell'asse stradale, nel nostro caso lo scostamento è pari a 1,5 m; in definitiva  $L_{\text{racc.}} = 79,50 \text{ m}$

La lunghezza del tratto di manovra è data in funzione della velocità:

- se  $V_p \geq 60 \text{ Km/h}$       $L_{\text{geom.}} = 30 \text{ m}$
- se  $V_p < 60 \text{ Km/h}$       $L_{\text{geom.}} = 20 \text{ m}$

Nel nostro caso viene soddisfatta la prima condizione, perciò  $L_{\text{geom.}} = 30 \text{ m}$ .

Analizziamo ora il tratto di decelerazione: per garantire il confort degli utenti si assume che la manovra di frenatura venga effettuata secondo un moto uniformemente decelerato, considerando una decelerazione pari a  $2 \text{ m/s}^2$ .

$L_d$  è data dalla formula seguente:

$$L_{\text{cin}} = (V_1^2 - V_2^2) / 2a$$

La velocità  $V_1$  è stata assunta pari al limite superiore dell'intervallo della velocità di progetto relativo alla categoria di strada considerata (Normativa):  $V_1 = 100 \text{ Km/h}$ .

$V_2$  secondo la Normativa deve essere assunto pari a  $6,95 \text{ m/s}$ .

Nel nostro caso  $L_{\text{cin.}} \sim 40 \text{ m}$

Per quanto riguarda la determinazione del tratto di accumulo  $L_{\text{funz.}}$ , dovrebbe essere usata la teoria delle code, ma nel caso in esame il tutto è stato semplificato considerando 8 veicoli in coda. Nel nostro caso  $L_{\text{funz.}} = 40 \text{ m}$ .

L'allargamento dei cigli della carreggiata principale viene realizzato secondo uno schema compositivo che divide l'intero percorso di passaggio in tre tratti di uguale lunghezza e precisamente:

- un primo tratto curvilineo a cui corrisponde una deviazione (misurata trasversalmente) pari ad  $\frac{1}{4}$  dello spostamento totale

- un secondo tratto rettilineo, tangente al precedente, a cui corrisponde una deviazione pari ad  $\frac{1}{2}$  dello spostamento trasversale totale;
- un terzo tratto curvilineo, con curvatura opposta al primo, cui corrisponde una deviazione pari alla restante parte ( $\frac{1}{4}$ ) dello spostamento totale.

Il raggio con cui si realizza il tratto rettilineo risulta pari a quanto indicato dalla seguente formula riportata in Normativa:

$$R = L_{\text{racc.}}^2 / 4,5d$$

in cui ***d*** rappresenta la larghezza della corsia in questione, che nel nostro caso è uguale a 3,5 m. Tale raggio risulta pertanto uguale a 401 m.

## 4.2 *Verifiche di sicurezza*

### 4.2.1 *Valutazione dei triangoli di visibilità*

Nel nostro caso il veicolo che si immette sulla SP 2 Orbetellana deve dare la precedenza ai veicoli che scorrono su questa.

Il veicolo fermo allo STOP sul ramo della Strada Privata Marina Cala Galera deve vedere un veicolo sul ramo della principale quando questo si trova ad una distanza dal punto di potenziale collisione pari a  $D = V_{80} \cdot t$ , dove " *t* " è il tempo necessario al veicolo fermo allo STOP per eseguire la manovra; la Normativa indica nel nostro caso un valore di  $t = 6s$ .

$V_{80}$  rappresenta la velocità relativa all'ottantesimo percentile della distribuzione normale delle velocità tenute lungo la strada su cui si vuole immettere; essa deve comunque essere sempre maggiore o uguale al valore di 50 Km/h.

Nel caso in esame  $V_{80} = 80 \text{ Km/h}$  ; per questo la distanza di visibilità principale da garantire risulta pari a:

$$D_V = V_{80} \cdot t = 133 \text{ m}$$

Tale distanza rappresenta il cateto del triangolo di visibilità da tracciare lungo l'asse della SP 2 Orbetellana; il secondo cateto del triangolo, che interessa l'altra strada, è fissato dalla Normativa pari a 3 metri al di sotto della linea di arresto per i flussi provenienti da Sud e di 6 metri per i flussi provenienti da Nord.

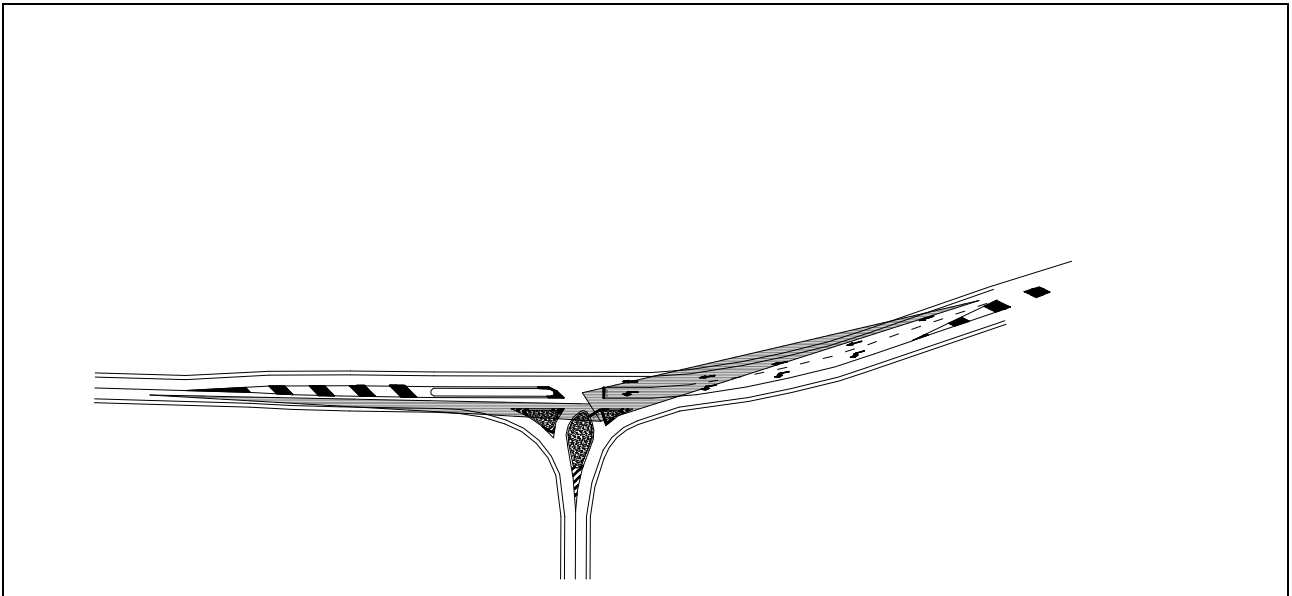


Fig. 4.5 Triangoli di visibilità

Quanto visto precedentemente è relativo alla svolta a sinistra dei veicoli che abbandonano la Strada Privata Marina Cala Galera per immettersi sulla SP. 2 Orbetellana. Prendendo nuovamente in considerazione la formula vista precedentemente, il tempo di approccio all'intersezione e di completamento della manovra viene fissato dalla Normativa pari a 12 s; utilizzando lo stesso valore della  $V_{80}$  visto sopra, la distanza di visibilità principale risulta essere pari a 267 metri.

Il triangolo della visibilità da garantire viene completato dal cateto staccato dal ciglio della principale che segue per 20 metri la traiettoria di immissione lungo la SP 2 Orbetellana.

La prescrizione relativa ai triangoli di visibilità è che all'interno della superficie da essi racchiusa non vi siano ostacoli di altezza superiore ad 1 metro.

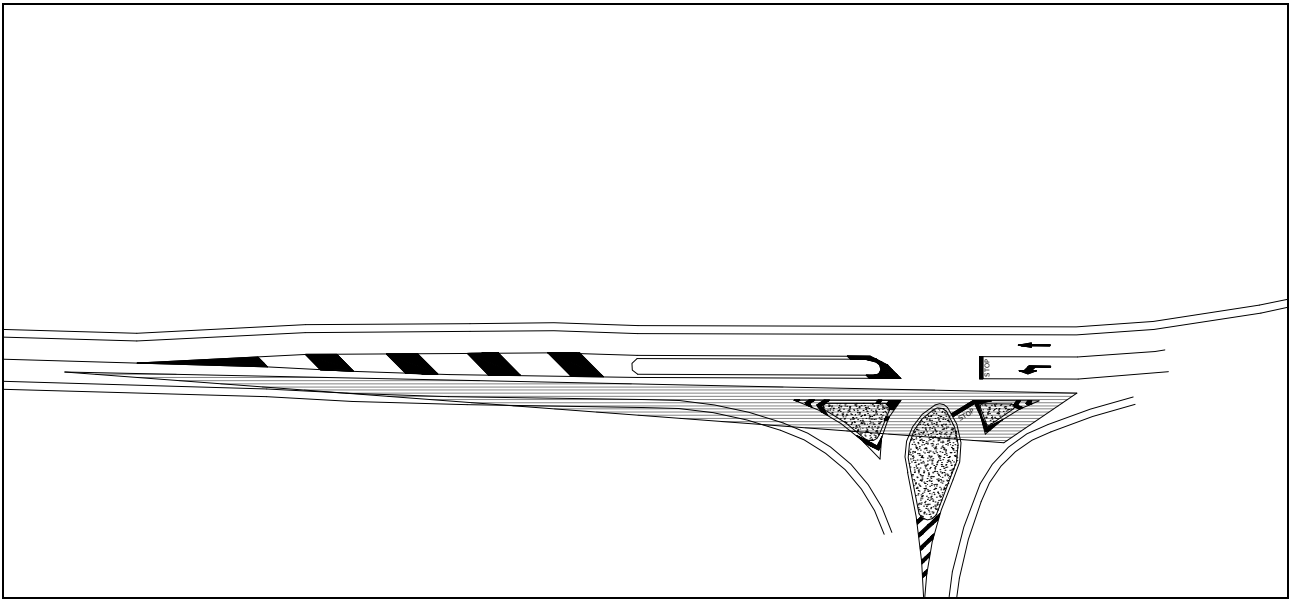


Fig. 4.6 Triangoli di visibilità



## Illuminazione delle rotatorie

Le intersezioni, siano esse a più livelli o a raso come le rotatorie, sono i punti maggiormente critici di una rete stradale e per questo, in fase progettuale, devono essere considerati i benefici indotti da una corretta illuminazione. L'illuminazione deve infatti rivelare ai conducenti dei veicoli l'esistenza dell'intersezione stessa, le direzioni delle strade che vi confluiscono e si dipartono da essa, la posizione dei marciapiedi, la presenza dei pedoni e altri utenti, le ostruzioni, il movimento di veicoli nelle vicinanze dell'area dell'intersezione.

### 5.1 *Descrizione dell'intervento*

L'intervento prevede lo studio e la progettazione degli impianti di illuminazione per le due rotatorie gemelle oggetto di questa tesi di laurea.

### 5.2 *Situazione normativa*

Fino a pochi anni fa in Italia non esisteva una Normativa indirizzata all'illuminazione delle rotatorie; venivano spesso richiamate le norme UNI 10819, la Normativa CEI 64-7. L'unica norma tecnica che era in vigore in materia di pubblica illuminazione (UNI 10439) trattava solo le strade rettilinee e quelle con raggio di curvatura non minore di 200 metri, e non era dunque applicabile ad aree critiche come le intersezioni. Indicazioni in merito ai requisiti illuminotecnici per le intersezioni erano fornite dallo studio a carattere prenormativo "Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali" che si rifà alle indicazioni della pubblicazione n° 115/1995 della Commission

International de l'Eclairage (CIE), "Recommendations for the lighting of road for motor and pedestrian traffic". In merito alla scelta della tipologia di impianto più idonea in base al tipo di rotatoria, si trovano indicazioni piuttosto generiche nelle normative straniere:

- Francese
- Svizzera
- Americana (Florida, Kentucky, Oregon, Quebec)
- Inglese

Anche in queste normative non viene espresso un criterio delineato per tale scelta ma, vengono indicate preferenze sul tipo di impianto (centrale o periferico) da valutare caso per caso in base ad esigenze funzionali ed estetiche. Le ultime Normative Tecniche UNI 11248 (*Illuminazione stradale, selezione delle categorie illuminotecniche*) emanate nel 2006, invece, seguono le indicazioni CIE 140 ed indicano i requisiti illuminotecnici minimi che devono essere mantenuti per le rotatorie. Questa norma è nata per fornire indicazioni illuminotecniche in merito alle problematiche di sicurezza più rilevanti che riguardano le rotatorie e che di seguito sono riportate:

- la riconoscibilità degli ostacoli
- il comfort visivo e abbagliamento

### 5.3 *Riconoscibilità degli ostacoli*

Un sistema di illuminazione sicura deve far rivelare ai conducenti dei veicoli l'esistenza dell'intersezione stessa, le direzioni delle strade che vi confluiscono e si dipartono da essa, la posizione dei marciapiedi, la presenza di pedoni e altri utenti, le ostruzioni, il movimento dei veicoli nelle vicinanze dell'area dell'intersezione. La visibilità notturna dipende dal contrasto fra l'oggetto che si osserva (vettura, pedone, ecc.) e lo sfondo su cui è posto

(strada); pertanto, è fondamentale garantire un livello di contrasto uniformemente su tutta la superficie della rotatoria. Questo perché, mentre nella circolazione su una strada rettilinea il guidatore utilizza principalmente una corsia della carreggiata, e gli ostacoli nella maggior parte dei casi si trovano frontalmente, nella rotatoria gli ostacoli si posizionano in tutte le direzioni.

#### 5.4 *Comfort visivo e abbagliamento*

L'esigenza di ottenere uniformità di illuminazione va temperata con la necessità di evitare fenomeni di abbagliamento, che costituiscono un grave pericolo per la sicurezza degli utenti. Nelle strade rettilinee il controllo dell'abbagliamento è piuttosto semplice da ottenere, poiché la direzione di marcia è sempre la stessa e i corpi illuminati sono tutti posizionati nello stesso lato della carreggiata. Al contrario, nelle rotatorie, l'utente può compiere diverse traiettorie e trovarsi anche nella situazione di avere la fonte di luce frontalmente. Si ovvia a questo problema impiegando corpi illuminanti che, in qualsiasi posizione vengano collocati, siano progettati per mantenere un indice di abbagliamento inferiore ai livelli stabiliti nella normativa.

#### 5.5 *Configurazione degli impianti di illuminazione*

La disposizione dei centri luminosi di pubblica illuminazione deve essere studiata in modo da soddisfare i relativi requisiti illuminotecnici e, allo stesso tempo, non influire negativamente sulla leggibilità delle segnalazioni. Le variabili su cui il progettista può agire sono: la geometria di installazione, l'altezza dei centri luminosi ed eventualmente lo sbraccio, l'interdistanza tra i centri, la potenza e il tipo delle lampade, il tipo di puntamento, ecc.

Le geometrie di installazione per l'impianto a servizio di una rotatoria, con riferimento all'anello, possono essere classificate in due tipi:

- disposizione centrale con torre/i faro o lampione centrale con apparecchi montati;
- disposizione periferica con punti luce su palo

In generale entrambe le soluzioni sono accettabili per ogni tipologia di rotatoria; la scelta va fatta in base ad esigenze economiche, energetiche, di semplicità di funzionamento e di esercizio dell'impianto. La prima garantisce una buona visibilità dell'incrocio da lontano e una migliore visibilità della segnaletica direzionale ma in termini di accessibilità dell'isola centrale per la manutenzione, soprattutto in caso di grandi altezze del palo centrale. Per contro, la disposizione periferica offre una più facile manutenzione ma una minor visibilità da lontano e, a parità di caratteristiche tecniche, un maggior costo dovuto al numero maggiore di sostegni.

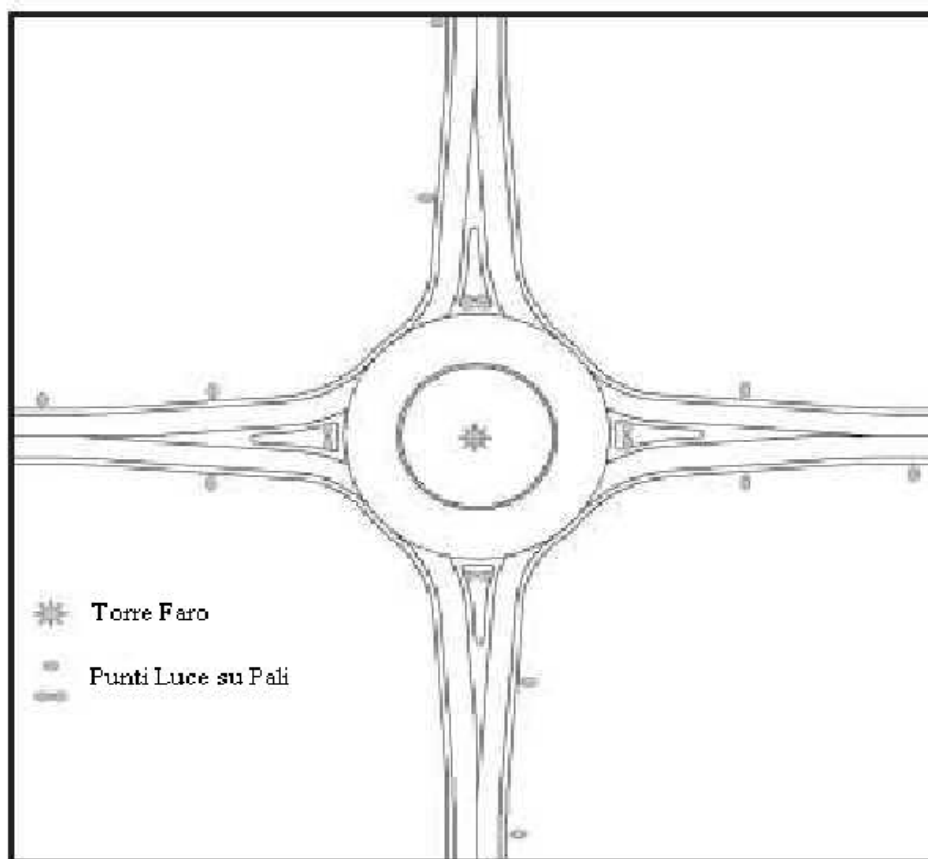


Fig. 4.1 - Rotatoria illuminata con disposizione centrale

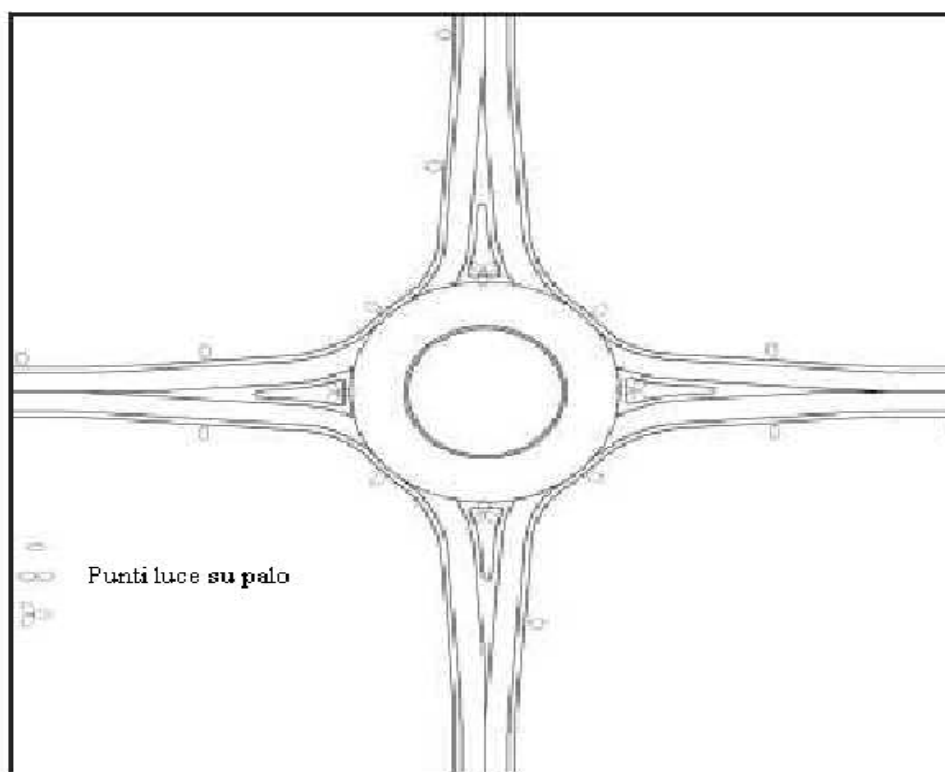


Fig. 4.2 - Rotatoria illuminata con disposizione periferica

Per quanto riguarda la disposizione dei centri luminosi nei bracci della rotatoria, va osservato il criterio valido per i tratti in curva, secondo il quale l'interdistanza deve essere diminuita rispetto alla carreggiata rettilinea. Un valore comunemente adottato è:

$$d_c = 0,75 d$$

dove "d" è l'interdistanza dei tratti in rettilineo e "d<sub>c</sub>" quella dei tratti in curva.

Per quanto riguarda la parte più propriamente impiantistica, l'illuminazione delle rotatorie ed in generale delle intersezioni non presenta problematiche particolari, per cui valgono le considerazioni esposte precedentemente al paragrafo sulle specifiche dell'impianto elettrico.

## 5.6 *Gli impianti di illuminazione pubblica*

L'oscurità fa diminuire la qualità e la quantità delle informazioni visive che servono al conducente per guidare; diminuiscono, infatti, prestazione visiva, acuità visiva, sensibilità al contrasto, capacità di valutare le distanze, velocità della percezione, distinzione dei colori e tolleranza all'abbagliamento. I fari dei veicoli non bastano a fornire al conducente le informazioni visive necessarie a guidare con sicurezza ed efficienza, specialmente quando le strade sono trafficate e hanno una geometria complessa (curve, intersezioni, ecc). Numerosi studi condotti in vari paesi dimostrano che il miglioramento della visibilità dovuta ad una illuminazione adeguatamente progettata e mantenuta nel tempo è un'efficace contromisura contro gli incidenti, comportando una riduzione nel numero e nella gravità degli stessi. In particolare, tali studi riportano una riduzione media degli incidenti nelle intersezioni e simili almeno del 40 %. Questo valore, in assenza di dati locali specifici, può essere utilizzato per analisi costi/benefici e studi di fattibilità.

## 5.7 *Principali parametri dell'illuminazione stradale*

La Norma UNI 10439 "Requisiti illuminotecnici delle strade con traffico motorizzato" (Seconda Edizione Luglio 2001) indica i requisiti illuminotecnici qualitativi e quantitativi da considerare nel progetto degli impianti di illuminazione stradale, ed è applicabile a tutte le strade rettilinee o in curva, siano esse urbane o extraurbane, con traffico esclusivamente motorizzato o misto. Le grandezze fotometriche cui fare riferimento per garantire un corretto campo visivo agli utenti delle strade sono:

- La Luminanza media mantenuta del manto stradale ( **$L_m$  [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]**);
- L' Uniformità generale ( **$U_0$** ) e Longitudinale ( **$U_l$** ) di detta Luminanza;
- L' indice di abbagliamento debilitante causato dall'installazione ( **$TI$  [%]**);
- Spettro di emissione delle lampade;
- Guida ottica.

Livello di Luminanza. Dal livello di luminanza dipende il potere di rivelazione, inteso come percentuale di un insieme definito di oggetti percepibile dal conducente in ogni punto della strada. Il potere di rivelazione aumenta all'aumentare della luminanza media del manto stradale, con andamento dipendente dall'uniformità e dal grado di abbagliamento debilitante prodotto dall'impianto. Per strade rettilinee, con manto asciutto, la norma UNI 10439/95 prevede vari livelli di luminanza a seconda del tipo di strada.

Uniformità di luminanza. Generalmente, il parametro utilizzato per descrivere la distribuzione delle luminanze sulla superficie stradale è il rapporto  $U_0 = L_{\min}/L_m$ , dove  $L_{\min}$  è la *luminanza puntuale minima* e  $L_m$  è quella *media* sull'intera superficie stradale. Il potere di rivelazione cresce con  $U_0$ , con andamento dipendente anche dal grado di

abbagliamento debilitante. La UNI 10439 prevede un valore per *U<sub>o</sub> non inferiore a 0.4* per tutti i tipi di strade.

Abbagliamento debilitante. L'effetto dell'abbagliamento debilitante è quello di ridurre notevolmente il potere di rivelazione. Il parametro generalmente utilizzato per quantificare l'abbagliamento debilitante è l'indice TI. La UNI 10439 raccomanda, sempre per tronchi di strade rettilinei, un valore non superiore a 10 per le autostrade e strade extraurbane, non superiore a 20 per gli altri tipi di strade urbane.

Spettro di emissione delle lampade. I tipi di sorgenti luminose ritenuti idonei per l'illuminazione stradale sono numerosi e differiscono considerevolmente tra di loro per la composizione spettrale della luce emessa. La "distanza di visibilità" dipende sensibilmente dallo spettro di emissione. Dallo spettro di emissione dipendono :

- l'acuità visiva ;
- l'impressione di luminosità a parità di luminanza della superficie stradale;
- la velocità di percezione;
- il tempo di recupero visivo dopo essere stati soggetti ad abbagliamento.

Guida ottica. Per guida ottica si intende la capacità di un impianto di illuminazione di dare all'utente un'immagine immediatamente riconoscibile del percorso da seguire fino ad una distanza che dipende dalla massima velocità permessa su quel tronco di strada. La guida ottica contribuisce alla sicurezza e alla facilità della guida. Perciò, essa è particolarmente importante per le intersezioni.

Tra i fattori che influiscono sulla guida ottica nelle intersezioni vi sono il colore della luce, l'altezza dei pali, il livello di luminanza, la disposizione dei centri luminosi.

I valori di tali grandezze sono riportati in funzione dell'indice della categoria illuminotecnica di appartenenza della strada, a sua volta dipendente dalla classificazione della strada in funzione del tipo di traffico.



La Norma raccomanda inoltre che sia evitata ogni discontinuità ad eccezione dei punti singolari intenzionalmente introdotti per attirare l'attenzione dei conducenti. La successione dei centri luminosi, l'intensità ed il colore della luce emessa devono cioè garantire la cosiddetta "guida ottica" (o visiva) cioè dare all'utente un'immagine immediatamente riconoscibile del percorso da seguire.

Classe <sup>1)</sup>	Tipo di strada e ambito territoriale	Indice della categoria illuminotecnica <sup>3)</sup>
A	Autostrade extraurbane	6
A	Autostrade urbane	6
B	Strade extraurbane principali	6
C	Strade extraurbane secondarie	5
D <sup>2)</sup>	Strade urbane di scorrimento veloce	6
D	Strade urbane di scorrimento	4
E <sup>2)</sup>	Strade urbane interquartiere	5
E	Strade urbane di quartiere	4
F	Strade extraurbane locali	4
F <sup>2)</sup>	Strade urbane locali interzonali	3
F	Strade urbane locali	2
<p>1. La presente classificazione è in sintonia con quella riportata nel "Testo aggiornato del Decreto Legislativo 30 aprile 1992, n°285 recante il nuovo codice della strada" pubblicato sul supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale Serie generale – n°67 del 22 marzo 1994.</p> <p>2. La presente classificazione è in sintonia con quella riportata nel Decreto Ministeriale LL. PP del 12 aprile 1995 "Direttive per la redazione, adozione ed attuazione dei piani urbani del traffico", pubblicato sul supplemento ordinario n°77, Gazzetta Ufficiale n°145 del 24 aprile 1995.</p> <p>3. Le presentazioni relative all'indice della categoria illuminotecnica sono indicate nella tabella che segue.</p>		

Tab. 4.3 Indice della Categoria Illuminotecnica in funzione del tipo di strada

Indice della categoria illuminotecnica	Valore minimo della luminanza media mantenuta $L_m$	Uniformità minima		Valore massimo dell'indice di abbagliamento debilitante TI
		$U_0^{1)}$	$U_1^{2)}$	
	[cd/m <sup>2</sup> ]	[%]	[%]	[%]
6	2,0	40	70	10
5	1,5	40	70	10
4	1,0	40	50	10
3	0,75	40	50	15
2	0,5	35	40	15
1	0,3	35	40	15
1. $U_0 = L_{min} / L_{med}$ 2. $U_1 = L_{min} / L_{max}$				

Tab. 4.4 Prescrizioni illuminotecniche in funzione dell'Indice della categoria

Le prescrizioni illuminotecniche riportate nella seconda tabella sopra sono riferite al valore massimo del flusso orario di traffico. Qualora si verificano in orari particolari, soprattutto durante la notte, riduzioni consistenti del traffico (superiori al 50 ovvero al 75 % di quello massimo) e le condizioni di sicurezza generali lo permettano, è possibile ridurre il valore minimo della luminanza media mantenuta. Ciò si ottiene con notevoli vantaggi sia in termini di risparmio energetico che di durata della lampade, dotando gli impianti di regolatori di flusso luminoso il cui funzionamento si fonda sulla variazione della tensione di alimentazione.

Oltre a soddisfare i requisiti sopraindicati, un impianto di pubblica illuminazione progettato correttamente deve :

- rispettare la legislazione sul contenimento dell'inquinamento luminoso, in particolare per gli impianti realizzati in Toscana la Legge Regionale n.37 del 21

Marzo 2000 – “Norme per la prevenzione inquinamento luminoso”;

- minimizzare l'intralcio alla circolazione pedonale e veicolare;
- integrarsi con gli elementi d'arredo urbano e soddisfare requisiti di carattere estetico.

Per quanto attiene la distanza dei sostegni dal bordo della carreggiata, nel caso di strade con limite di velocità minore di 70 km/h (Strade urbane e tratti di strade extraurbane secondarie e locali), i limiti sono stabiliti dalla Norma CEI 64-7, “Impianti elettrici di illuminazione pubblica e similari”, mentre per strade con limite di velocità superiore (Strade extraurbane in genere ed autostrade) le distanze dal bordo della carreggiata sono stabilite dal Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 03/06/1998.

Il soddisfacimento dei requisiti estetici si ottiene anche attraverso l'accurata scelta del tipo di sorgente luminosa e della caratteristica resa cromatica, in funzione della destinazione d'uso dell'area illuminata.

### 5.8 *Misure goniometriche, distribuzione e qualità della luce*

La misura dell'intensità della luce emessa da un apparecchio di illuminazione nelle varie direzioni dello spazio si può fare con un goniometro. In questo strumento, l'armatura viene alloggiata in un supporto che le permette di ruotare attorno ad un asse verticale mantenendo la sua corretta posizione di funzionamento. Un dispositivo ottico che può ruotare attorno all'armatura in un piano verticale raccoglie la luce emessa e la invia ad un rivelatore. Per ogni angolo dell'armatura attorno all'asse verticale e per ogni angolo del dispositivo ottico attorno all'asse orizzontale, il rivelatore misura l' *illuminamento*  $E$  che riceve, da cui si calcola l' *intensità emessa*  $I = E d^2$ , ove  $d$  è la distanza tra la lampada e il rivelatore. Appositi artifici ottici permettono di porsi in condizioni simili a quelle in cui la

distanza tra armature e dispositivo ottico fosse così grande da poter trascurare le dimensioni della armatura rispetto alla distanza  $d$ . In questo modo si può assumere che il rivelatore veda l'apparecchio come "puntiforme". La rappresentazione delle misure più comune è chiamata rappresentazione  $C/\gamma$  ed è illustrata nella figura seguente:

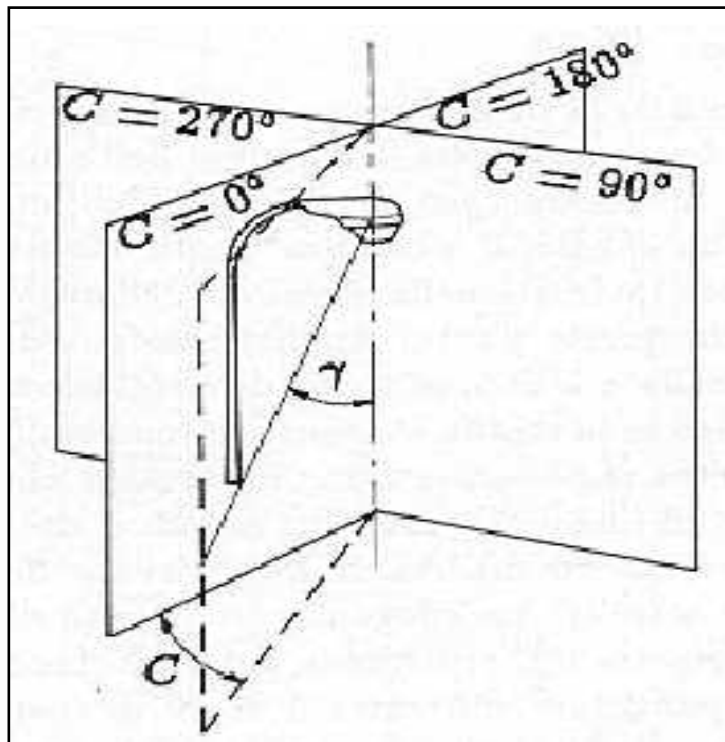


Fig. 4.5 Angoli  $C$  e  $\gamma$  nella rappresentazione  $C/\gamma$

La distribuzione di luce di un apparecchio di illuminazione viene ottenuta grazie al sistema ottico. Un riflettore, in genere, di alluminio, posto nella parte superiore dell'armatura riflette la luce emessa dalla lampada che esso intercetta. La distribuzione di intensità della luce riflessa nelle varie direzioni è legata alla forma e alle caratteristiche di tale riflettore. Per modificare la distribuzione di intensità di quella parte della luce che, essendo stata emessa dalla lampada verso il basso, non si è riflessa sul riflettore si usa talvolta un rifrattore posto in corrispondenza dell'apertura inferiore lasciata dal riflettore.

La qualità della luce viene valutata mediante la resa cromatica, indice di resa dei colori, la temperatura di colore e la tonalità di luce. La resa dei colori o resa cromatica è una valutazione qualitativa sull'aspetto cromatico degli oggetti illuminati ed è pari a:

- ottimo
- buono
- soddisfacente

*L'indice di colore " $R_a$ "* permette di ottenere una valutazione oggettiva riguardo alla resa di colore della sorgente luminosa emittente.

L'indice  $R_a$  è posto pari a 100 quando la sorgente emittente la luce ha lo stesso effetto della sorgente luminosa di riferimento.

L'indice di resa cromatica è funzione indiretta della differenza di resa dei colori, cioè tanto minori sono i valori di  $R_a$  tanto più grande è la differenza nella resa dei colori.

Un indice sui 50 può essere accettato in zone industriali ma l'indice deve essere ben maggiore laddove si debbono distinguere od individuare degli oggetti o loro particolari.

La temperatura di colore, la cui unità di misura è il grado Kelvin (K), ha come riferimento l'emissione del corpo nero o la curva di Plank. La parte della radiazione visibile preponderante è funzione diretta della temperatura di colore " $T_c$ ", cioè tanto più grande è  $T_c$  tanto più si accentua la parte azzurra della radiazione, mentre per valori piccoli di  $T_c$  si accentua la parte rossa della radiazione visibile.

Ad esempio, la luce emessa da una lampada ad incandescenza ha  $T_c$  pari a circa 2.700 K, mentre la luce diurna a mezzogiorno presenta un valore di  $T_c$  pari a 6.000 K.

La tonalità di luce è funzione della temperatura di colore.

Si riportano alcune grandezze indicative:

- tono caldo < 3.300 K
- tono neutro < 3.300 - 5000 K
- tono bianchissimo 4.000 K
- luce diurna > 5.000 K

### 5.9 *Gli apparecchi illuminanti*

Un apparecchio elettrico di illuminazione è un trasduttore che trasforma l'energia elettrica assorbita in energia radiante. La trasduzione è svolta dalla lampada ma l'apparecchio per lampade a scarica di gas, in genere, è composto dai seguenti componenti (la sequenza proposta è anche quella fisica di funzionamento):

- piastra accessori (reattore, accenditore, morsetteria, condensatore di rifasamento, fusibile, ecc...)
- portalampada
- lampada a scarica di gas (mercurio, alogenuri, sodio alta e bassa pressione)
- schermo riflettente brillantato
- coppa (in vetro o materiale plastico)

La lampada per accendersi e funzionare ha bisogno dell'accenditore e del reattore.

La lampada tramite la scarica dei gas trasforma parte l'energia elettrica in luce; la luce emessa dall'arco di scarica, viene riflessa, assorbita e rifratta dal bulbo della lampada; la parte rifratta a sua volta si divide in due parti: una che viene riflessa dallo schermo

riflettente, l'altra che incide sulla coppa; la luce che arriva sulla coppa viene riflessa, assorbita e rifratta, solo la luce rifratta si diffonde all'esterno.

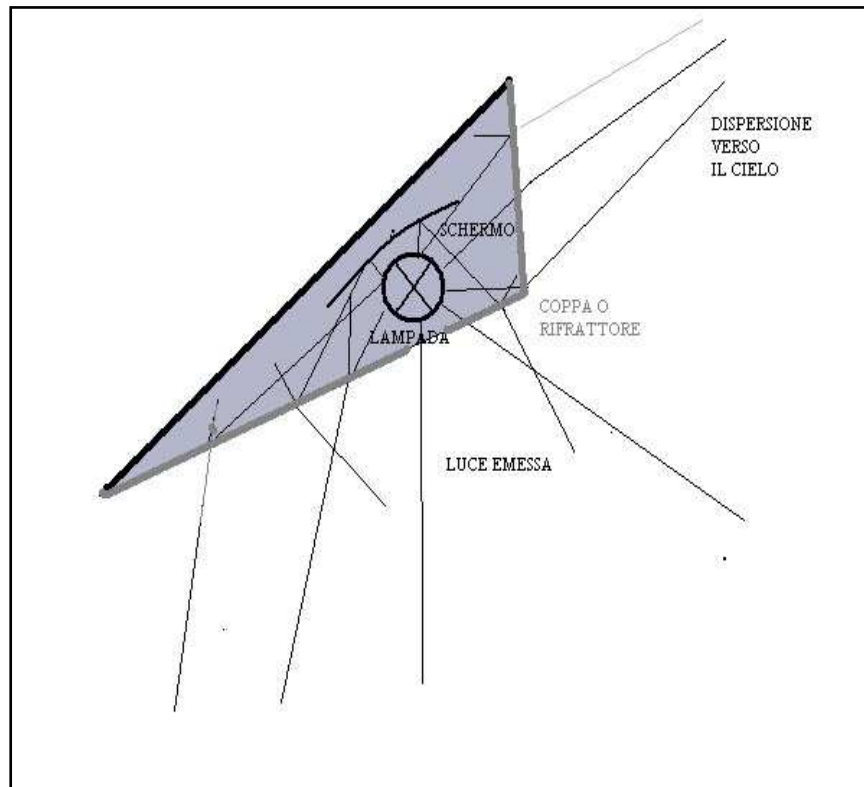


Fig. 4.6 Raggi di un generico apparecchio illuminante

### 5.10 *Requisiti tecnici e geometrici di apparecchi illuminanti e lampade*

Per garantire i requisiti necessari ad un impianto di illuminazione si deve garantire un'illuminazione adeguata delle zone necessarie e non disperdere flusso luminoso nelle zone che possono/devono rimanere in ombra. L'apparecchio illuminante, descritto precedentemente, dovrà essere montato su palo dritto parallelamente alla superficie da illuminare e si dovrà garantire una adeguata ed uniforme illuminazione nel piano verticale parallelo all'asse stradale e in quello ortogonale, utilizzando montature e materiali corretti.



### 5.11 *Apparecchi asimmetrici*

Gli apparecchi illuminanti che rispettano maggiormente tali condizioni sono apparecchi a parabola asimmetrica, la cui distribuzione dell'intensità luminosa consente di orientare sull'area che interessa la maggior parte di flusso di luce. Le curve fotometriche di tali apparecchi presenteranno quindi una non simmetria della curva  $\gamma$  che dovrà essere orientata verso il lato stradale. Vengono qui di seguito riportate due curve fotometriche degli apparecchi illuminanti presi in considerazione per il calcolo illuminotecnico delle rotatorie (l'andamento dell'angolo  $C$  è indicato in rosso, mentre in blu è rappresentato l'andamento dell'angolo  $\gamma$ ) :

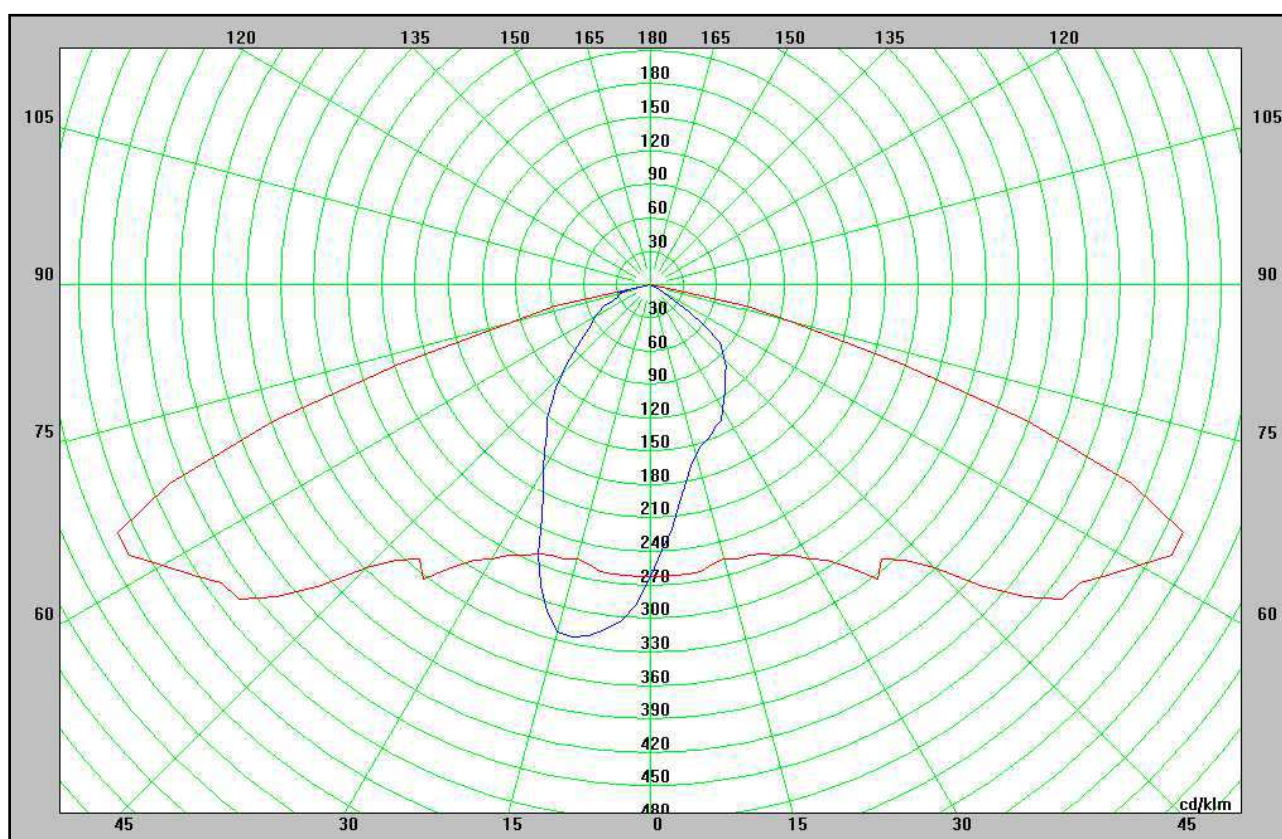


Fig. 4.7 Curva fotometrica 150 W

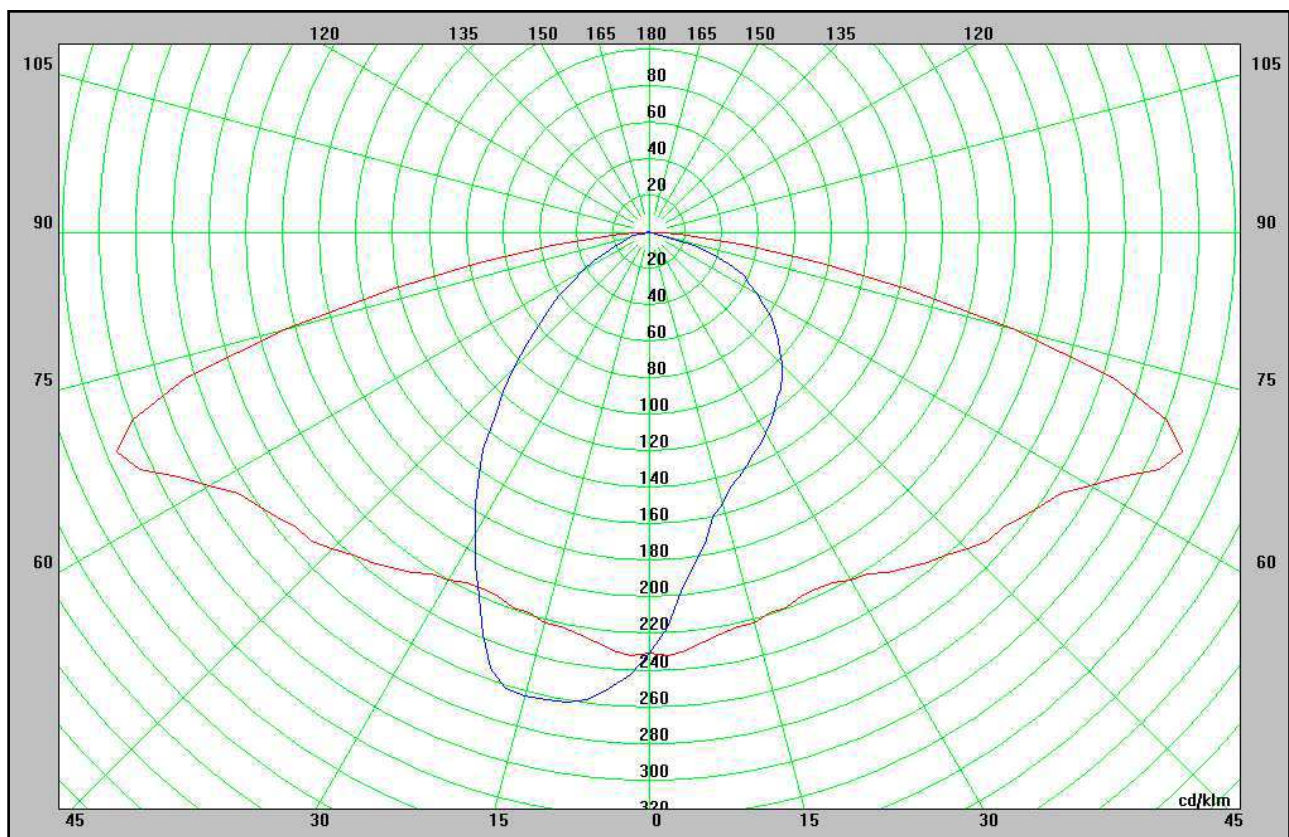


Fig. 4.8 Curva fotometrica 400 W

### 5.12 *Apparecchi totalmente schermati*

Per evitare quella parte di inquinamento luminoso prodotta dalla luce dispersa direttamente nel cielo dagli apparecchi stradali non c'è che una regola: adoperare apparecchi di illuminazione che una volta installati non emettano luce sopra un piano orizzontale passante per il centro della lampada. Questi apparecchi sono chiamati apparecchi totalmente schermati o anche "fully shielded" (Tucson Code 1987) o full cut off.

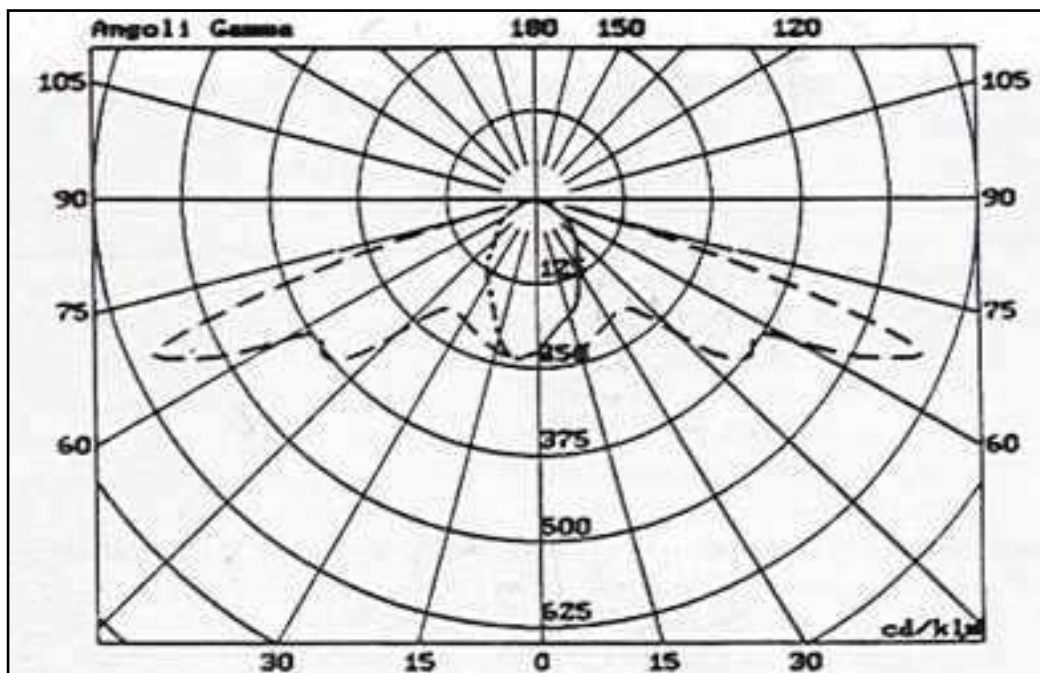


Fig. 4.9 Curve fotometriche di un apparecchio stradale totalmente schermato con vetro di protezione piano

Per evitare dispersione di luce sopra l'orizzonte inoltre risulta un'ottima soluzione il vetro piano con il massimo flusso emesso intorno ai 75°. Per migliorare la leggibilità e la visibilità della rotatoria (e in generale di una intersezione), si dovranno scegliere lampade con una elevata resa cromatica, e differenziare il colore della luce per rendere di immediata identificazione la rotatoria. Si adotteranno quindi lampada al sodio ad alta pressione nei bracci affluenti la rotatoria, con temperature di colore calde ( $K < 3000^\circ$ ), e lampada agli ioduri metallici sulla rotatoria, caratterizzate da temperature di colore più fredde ( $K > 4000^\circ$ ) e luce bianca. Infine come vetro si adopereranno vetri piani temperati.

### 5.13 *Le lampade*

Una volta stabilito il numero di sorgenti luminose (quattro poste al centro della rotatoria nel caso in esame) e potenza nominale necessaria per un'adeguata illuminazione si

dovranno valutare la resa cromatica, l'efficienza luminosa e la temperatura di colore di tali lampade.

Si utilizzeranno lampade le cui rese cromatica e l'indici di resa dei colori siano ottimi, inoltre si utilizzeranno lampade con la più alta efficienza luminosa possibile. Nel caso di intersezioni stradali e quindi di rotatorie, dovendo sottolineare la presenza dell'intersezione stessa e quindi di una discontinuità del flusso veicolare si adoperano lampade con temperature prossime o maggiori di 4000K.

Si avrà quindi una luce giallo/arancio nella rotatoria e nei bracci affluenti sfruttando lampade al sodio ad alta pressione.

#### 5.14 *L'impianto elettrico*

Per l'alimentazione degli apparecchi di un impianto di pubblica illuminazione è adottata, nella quasi totalità delle applicazioni esistenti, la soluzione a tensione impressa (o in derivazione) in bassa tensione. La distribuzione avviene con sistema TT, fase-neutro o fase-fase 230 V 50 Hz oppure trifase con neutro 230/400 V 50 Hz: l'alimentazione monofase è economicamente conveniente in impianti di potenza modesta (fino a 6 kW).

Il dimensionamento elettrico delle linee di alimentazione deve soddisfare ai seguenti requisiti:

- garantire l'alimentazione dei centri luminosi con una caduta di tensione totale inferiore al 5%, secondo la Norma CEI 64-7 (dimensionamento in relazione alla caduta di tensione);
- garantire la protezione contro i cortocircuiti e contro i contatti indiretti in tutti i punti dell'impianto secondo la Norma CEI 64-8, "Impianti elettrici utilizzatori a tensione

nominale non superiore a 1000 V c.a. e 1500 V c.c.” (dimensionamento in relazione alle correnti di cortocircuito);

I criteri di verifica sono quelli tradizionali degli impianti in bassa tensione con le precisazioni che seguono.

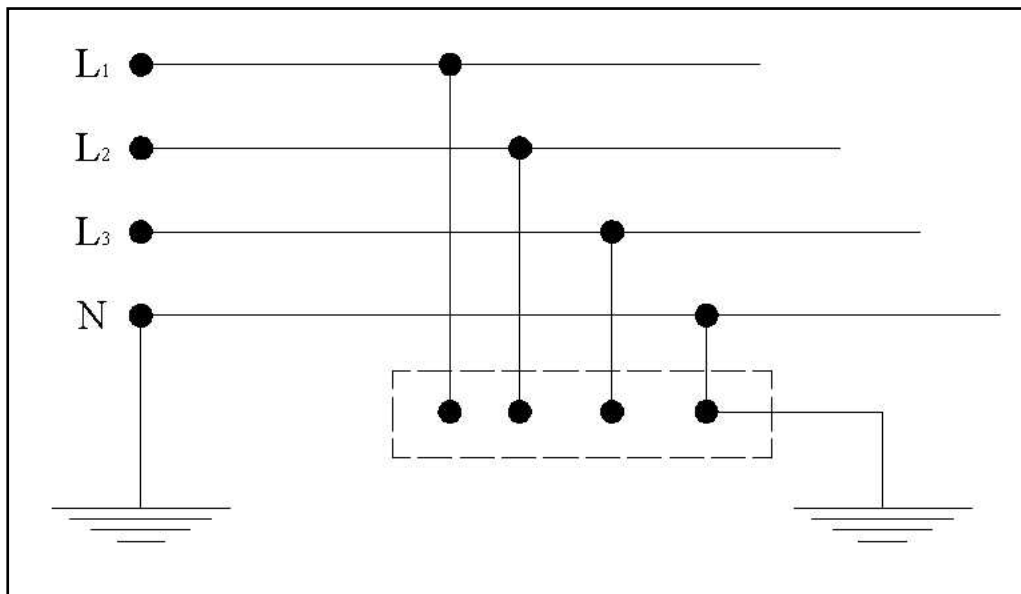
Le lampade a scarica, quelle maggiormente utilizzate negli impianti in esame, costituiscono carichi di tipo non lineare, soggetti quindi all'assorbimento di correnti armoniche; la caduta di tensione di 3° armonica non è trascurabile per cui è necessario, nell'esecuzione dei calcoli di dimensionamento, considerare come caduta di tensione limite un valore inferiore al 5% (solitamente pari a 3.4 %).

Gli apparecchi d'illuminazione non sono soggetti a sovraccarico per cui non sarebbe necessario proteggere i circuiti che li alimentano contro questo evento. Tuttavia la Norma CEI 64-8 consiglia di proteggere ugualmente i circuiti per ottenere una maggiore sicurezza contro il cortocircuito a fine linea, che il dispositivo di protezione dal cortocircuito potrebbe non “riconoscere”. La protezione contro i contatti indiretti è ottenuta generalmente, con i criteri e le metodologie esposti nella normativa generale per gli impianti di bassa tensione, mediante i seguenti sistemi:

- interruzione automatica dell'alimentazione (messa a terra);
- utilizzo di componenti in classe d'isolamento II.

### 5.15 *Sistema di distribuzione*

Si adotta un sistema di distribuzione di prima categoria con punto collegato direttamente a terra e le masse dell'impianto collegate ad un impianto di terra elettricamente indipendente da quello del collegamento a terra del sistema di alimentazione:



Gli impianti alimentati in serie presentano il vantaggio di avere tutte le lampade percorse dalla stessa corrente, quindi nelle condizioni di emettere il loro pieno flusso nominale e di poter illuminare strade molto lunghe con modeste sezioni di conduttore e una sola cabina di alimentazione. Gli svantaggi sono da ricercare nei pericoli presentati dalla elevata tensione del circuito, nelle speciali apparecchiature richieste per ottenere la corrente costante (trasformatori a bobina mobile o regolatori risonanti), nel non favorevole comportamento degli alimentatori in presenza di lampade a scarica, in particolare a vapore di sodio. Per tali motivi si usano sempre meno.

Gli impianti in derivazione sono, come detto, i più usati, e presentano il vantaggio di avere circuiti di utilizzazione in bassa tensione, con caratteristiche identiche a quelle dei circuiti di distribuzione normale. Si ha però lo svantaggio che tutte le lampade non emettono lo stesso flusso, in dipendenza della costante tensione nella alimentazione e, per strade molto lunghe, si va incontro a sezioni di conduttore rilevanti o all'esigenza di aumentare in numero delle cabine o ancora alla necessità di adoperare per l'alimentazione linee di media tensione.

### 5.16 *Illuminazione delle rotatorie*

Le intersezioni, siano esse a più livelli o a raso come le rotatorie, sono i punti maggiormente critici di una rete stradale e perciò possono avvantaggiarsi dei benefici indotti da una corretta illuminazione più ancora dei tronchi stradali rettilinei.

L'illuminazione deve infatti rivelare ai conducenti dei veicoli l'esistenza della intersezione stessa, le direzioni delle strade che vi confluiscono e si dipartono da essa, la posizione dei marciapiedi, la presenza di pedoni e altri utenti, le ostruzioni, il movimento di veicoli nelle vicinanze dell'area della intersezione.

### 5.17 *Requisiti di carattere illuminotecnico*

Anche nel caso delle intersezioni, il criterio posto alla base del dimensionamento degli impianti di illuminazione è comunque quello della luminanza.

Secondo la pubblicazione CIE 115/95, il livello di luminanza delle intersezioni dovrebbe essere di un grado più elevato di quello previsto per la strada più importante afferente.

La tabella sottostante riporta un'ipotesi di requisiti illuminotecnici per le intersezioni elaborata secondo tale criterio, coerente con la suddivisione in categorie illuminotecniche della Norma UNI 10439.



Strada più importante dell'intersezione	Requisiti illuminotecnici dell'intersezione		
	$L_m$ (cd/m <sup>2</sup> )	$U_0$ [%]	Tl [%]
Autostrade extraurbane o urbane	2	0.4	10
Strade extraurbane principali	2	0.4	10
Strade extraurbane secondarie	2	0.4	10
Strade urbane di scorrimento veloce	2	0.4	10
Strade urbane di scorrimento	1.5	0.4	10
Strade urbane interquartiere	2	0.4	10
Strade urbane di quartiere	1.5	0.4	10
Strade extraurbane locali	1.5	0.4	10
Strade urbane locali interzonali	1	0.4	10
Strade urbane locali	0.75	0.4	15

Fig. 4.11 Requisiti illuminotecnici per le intersezioni in funzione della strada affluente più importante

Ove non sia applicabile il criterio della luminanza, ad esempio a causa delle ridotte distanze di osservazione, per l'impossibilità di definire i punti di osservazione o per difficoltà di calcolo, può essere utilizzato un criterio basato sull'illuminamento.

La pubblicazione CIE 115/95 propone una suddivisione delle intersezioni in cinque classi e definisce i relativi requisiti secondo quanto riportato nella tabella seguente, dove:

$E$  (lx): minimo illuminamento medio mantenuto sull'intera superficie dell'intersezione;

$U_0$  [%]: minimo rapporto di uniformità  $E_{min}/E_{med}$  sull'intera superficie dell'intersezione;

$C_i$  : classi dell'illuminazione del tipo di intersezione.



Classe dell'intersezione	Requisiti illuminotecnici dell'intersezione	
	E (lx)	U <sub>0</sub> [%]
C <sub>0</sub>	50	0.40
C <sub>1</sub>	30	0.40
C <sub>2</sub>	20	0.40
C <sub>3</sub>	15	0.40
C <sub>4</sub>	10	0.40
C <sub>5</sub>	7.5	0.40

Fig. 4.12 Requisiti Illuminotecnica in termini di illuminamento per le classi di intersezioni stradali

L'attribuzione di una tipologia d'intersezione alle diverse classi può essere stabilita in funzione della strada più importante afferente all'intersezione stessa (1<sup>a</sup> tabella), ovvero, per il caso delle rotatorie, secondo la classificazione della 2<sup>a</sup> tabella.

Strada più importante dell'intersezione	Classe
Strade ad alta velocità a due carreggiate	C <sub>0</sub> – C <sub>1</sub>
Strade urbane di scorrimento	C <sub>1</sub> – C <sub>2</sub>
Strade locali	C <sub>3</sub> – C <sub>4</sub> – C <sub>5</sub>

Fig. 4.13 Classi di intersezioni in funzione della strada afferente più importante

Tipo intersezione	Classe
Rotatoria complessa o grande	C <sub>1</sub>
Rotatoria di medie dimensioni e complessità	C <sub>2</sub>
Rotatoria semplice o piccola	C <sub>3</sub>

Fig. 4.14 Classi di intersezioni stradali in funzione del tipo di rotatoria

Il tipo e la disposizione dei centri luminosi devono essere scelti in modo da garantire ai conducenti la "guida visiva", ossia dare un' immagine immediatamente riconoscibile del percorso da seguire.

Nel caso delle rotatorie, la presenza di un' illuminazione a geometria "centrale", segnala in modo efficace l'esistenza dell'intersezione e costituisce un elemento di discontinuità rispetto all' illuminazione dei bracci.

Nel caso di intersezioni tra strade illuminate e non, è opportuno estendere l' illuminazione oltre le aree critiche dell'intersezione stessa anche per le strade prive di illuminazione.

Ciò per tenere conto del fatto che il tempo di adattamento visivo nella transizione da zone illuminate e zone buie, durante il quale la visibilità si riduce, è molto superiore rispetto a quello della transizione inversa.

Affinché l' adattamento visivo abbia luogo, è quindi necessario prolungare l'impianto di illuminazione oltre l'intersezione per un tratto della strada uscente la cui lunghezza dipende dalla velocità dell'autoveicolo. Ad esempio se un'intersezione è illuminata a 2 cd/m<sup>2</sup> e se il livello di luminanza del tratto uscente è di 0.3 cd/m<sup>2</sup>, il tempo di transizione è di circa 10 s. La lunghezza di tale tratto dovrà essere di circa 140 m, se la velocità di progetto della strada è di 50 km/h.

In presenza di intersezioni interessate da traffico misto occorre tenere conto della prescrizione della Norma UNI 10439 che indica nella misura di 5 m la fascia di pertinenza destinata al traffico pedonale, nella quale deve essere garantito un livello d'illuminamento medio non minore della metà di quello della fascia adiacente di 5 m, appartenente alla carreggiata, ed in generale curare la progettazione dell'impianto in modo da illuminare – con particolare attenzione alle superfici verticali – veicoli e pedoni nell'area dell'intersezione ed in quelle adiacenti.

### 5.18 *Criteri di scelta dell'impianto*

Le problematiche da tenere presente in una progettazione ed installazione di un impianto di illuminazione, possono essere così riassunte :

*Rendimento finale.*

*Rendimento delle lampade.*

*Rendimento degli alimentatori:* assorbono circa il 20% della potenza della lampada. Gli alimentatori elettronici hanno un assorbimento pari a circa il 2% ma non ancora affidabili quanto quelli elettromagnetici.

*Rendimento dell'apparecchi.*

*Riflettività del riflettore.*

*Indici di rifrazione dei vetri:* questi dovrebbero aumentare, e diminuire al tempo stesso gli indici di assorbimento e riflessione.

*Forme del riflettore:* si deve ricercare una forma più direzionabile possibile.

*Angoli di emissione:* cercare angoli di emissioni elevati per evitare di inclinare l'apparecchio, e nel contempo evitare un surriscaldamento e perdite dovute a flusso intrappolato all'interno dell'apparecchio.

*Vetri:* si può pensare di sperimentare vetri con indici di rifrazione diversi lungo la loro

superficie; variando l'indice di rifrazione, a parità di dimensioni dell'ottica, si posso ottenere angoli di emissione maggiori.

*Dispersione oltre l'area da illuminare.*

*Spettro di emissione:* se non c'è bisogno dell'intero spettro si può ricorrere alla luce gialla o arancione/rosa delle lampade al sodio.

*Riduzione del flusso luminoso:* illuminare cioè, quando e dove serve.

*Scelta dell'apparecchio e della lampada.*

*Installazione dell'impianto.*

## 5.19 *Calcolo meccanico dei sostegni*

Una volta scelta l'altezza dei sostegni da adottare, e quindi note le caratteristiche geometriche e meccaniche sulla base delle tabelle fornite dai costruttori, occorre verificare la stabilità dei sostegni stessi.

Prima di procedere con le verifiche si sottolinea che quanto segue è valido per pali di altezza inferiore a 20m e con l'ipotesi che l'alimentazione avviene a mezzo di cavi sotterranei.

La normativa di riferimento è la UNI-EN 40/6.

### 5.19.1 *Determinazione della pressione del vento*

La *pressione dinamica di calcolo*  $q_h$  [ $N/m^2$ ] viene calcolata sulla base della seguente espressione :

$$q_h = q_B \cdot \alpha \cdot \delta \cdot \beta \cdot \kappa$$

$q_B$  è la pressione dinamica di base (pressione ad un'altezza di 10m sopra il livello del suolo) che si assume pari a  $500 N/m^2$ ;

$\alpha$  è un coefficiente che tiene conto dell'altezza effettiva  $h$  del punto in cui si calcola la pressione.

Espresso  $h$  in metri, si assume :

$$\alpha = 1 + 0,02 \cdot (h - 10)$$

$\delta$  è un coefficiente di riduzione che tiene conto del fatto che maggiore è l'altezza del palo minore è la probabilità che esso sia globalmente soggetto alla pressione massima presa come base di calcolo.

Indicando con  $H$  l'altezza nominale [m] del palo, si pone :

$$\delta = 1 - 0,01 \cdot H$$

$\beta$  è il coefficiente di maggiorazione dinamica che tiene conto delle oscillazioni provocate dalle raffiche di vento. E' funzione del periodo proprio  $T$  del primo modo di vibrare e dello smorzamento del sistema palo-apparecchio di illuminazione. Il calcolo di  $T$  [secondi] si effettua secondo due vie distinte a seconda che la sezione del palo sia cilindrica (o prismatica) a sezione costante oppure che sia troncoconica.

Nel primo caso (sezione cilindrica costante) si ha :

$$T = 1,79 \cdot H^2 \cdot \sqrt{(p/gEJ)}$$

dove :

$p$  = peso per unità di altezza [kg/m]

$g$  = accelerazione di gravità [ $m/s^2$ ]

$E$  = modulo di elasticità [ $kg/m^2$ ]

$J$  = momento di Inerzia della sezione [ $m^4$ ]

Nel secondo caso (sezione troncoconica) si utilizza la seguente espressione :

$$T = k \cdot H^2 \cdot \sqrt{(p/gEJ)}$$

dove in questo caso :

$p$  = peso per unità di altezza assumendo quale sezione trasversale del palo quella di base  
[kg/m]

$J$  = momento di Inerzia della sezione [m<sup>4</sup>]

$K$  = coefficiente che tiene conto della sezione variabile ed è in funzione del rapporto  $H/L$  ( $L$  è la lunghezza totale del palo).

Il coefficiente  $K$  può esser determinato utilizzando il grafico seguente :

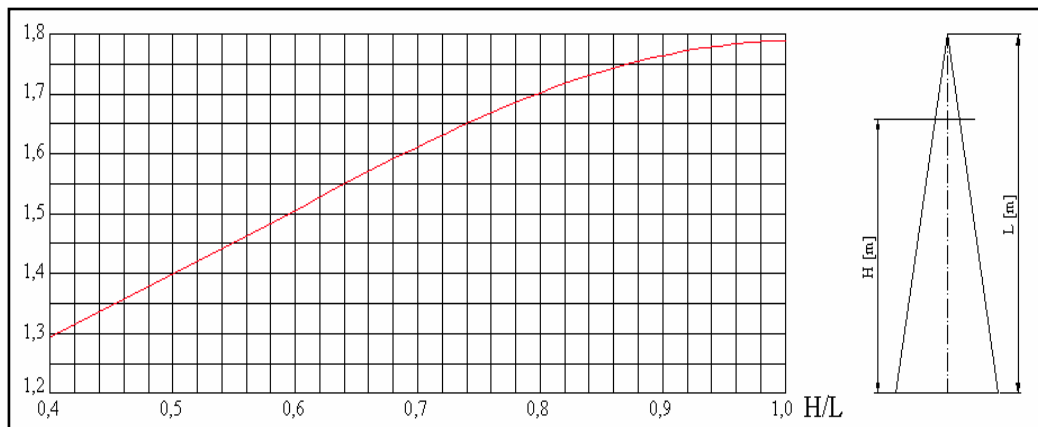


Fig. 4.15 Grafico per la determinazione di  $K$

Calcolato  $T$ , il valore di  $\beta$  si desume dal seguente grafico, riferito al metallo :

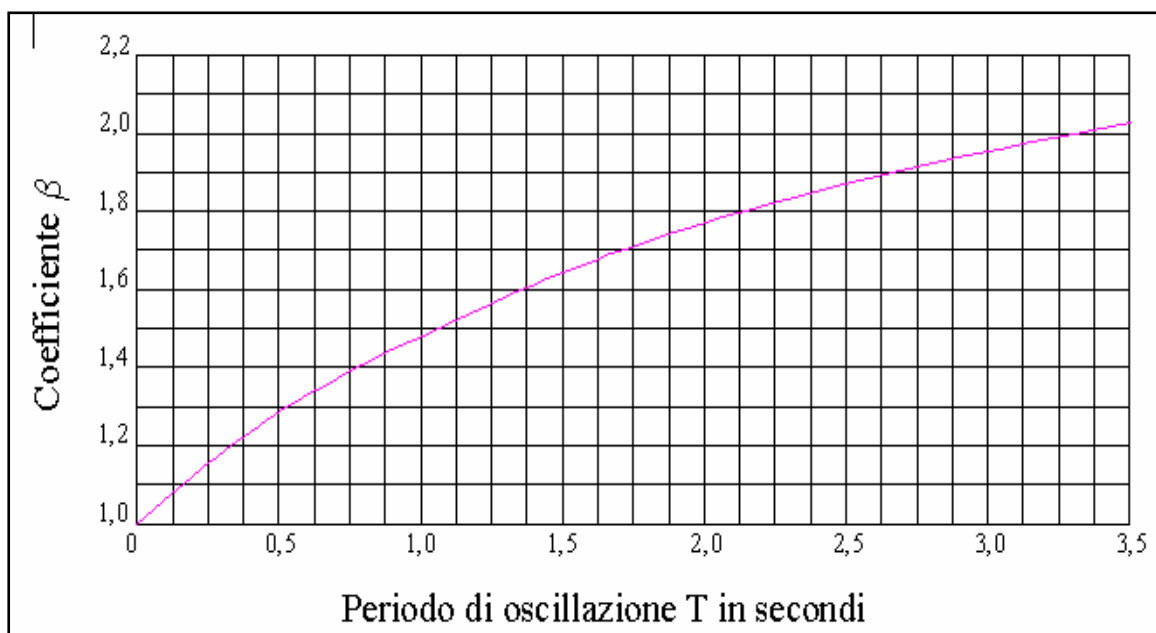


Fig. 4.15 Grafico per la determinazione di  $\beta$

Infine  $k$  è il *coefficiente di ventosità*; si tratta di un fattore di correzione che tiene conto della natura del luogo della messa in opera del palo.

### 5.19.2 Forze dovute all'azione del vento

Per il calcolo delle forze dovute all'azione del vento il fusto viene suddiviso, verticalmente, in un numero discreto "n" di elementi. Per l' i-esimo di questi ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) la *forza orizzontale*  $F_{ci}$  [N], considerata agente in corrispondenza del baricentro dell'elemento stesso, si ricava come :

$$F_{ci} = A_{ci} \cdot c_i \cdot q_{hi}$$

dove :

$A_{ci}$  è l'area, in  $m^2$ , della proiezione della superficie investita dal vento sul piano ortogonale alla direzione di questo (piano verticale);

$c_i$  è il coefficiente di forma dell'elemento considerato;

$q_{hi}$  è la pressione dinamica di calcolo in corrispondenza del baricentro dell'elemento considerato.

Per sezioni circolari e ottagonali il coefficiente di forma si ricava sulla base del grafico di figura seguente in funzione del parametro  $Re$  :

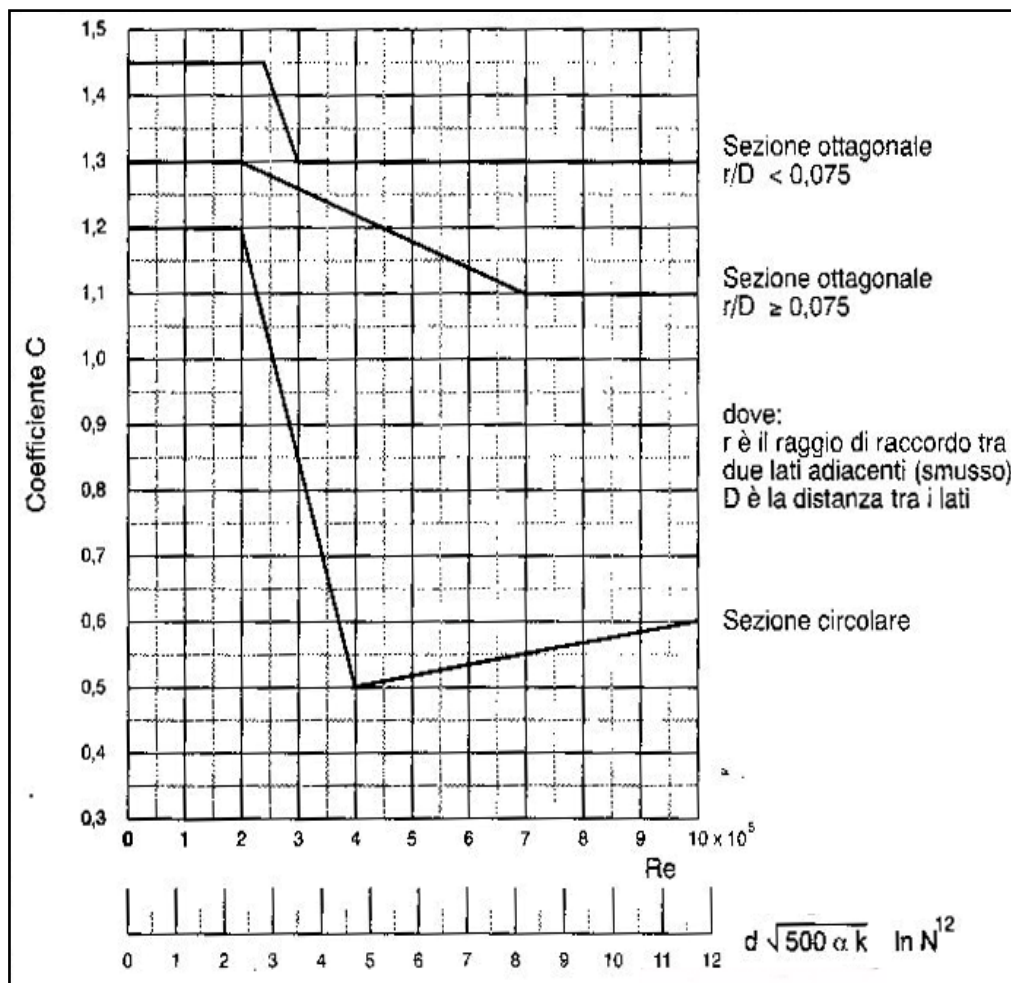


Fig. 4.16 Fattori di forma per pali a sezione circolare e ottagonale

$Re$  tiene conto della velocità del vento  $V$  [m/s], del diametro  $d$  [m] e della viscosità cinematica dell'aria  $\nu$  [m<sup>2</sup>/s] a 20°C :

$$Re = V \cdot (d/\nu)$$

dove si assume :

$$V = 1,28 \cdot \sqrt{(q_h / \delta \cdot \beta)} \text{ [m/s]}$$

$$\nu = 1,51 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]}$$



Per gli apparecchi di illuminazione il valore della *forza*  $F_a$  [N] dovuta alla pressione del vento si ricava con l'espressione :

$$F_a = A_a \cdot c_a \cdot q_{ha}$$

dove :

$A_a$  è l'area della proiezione dell'apparecchio di illuminazione sul piano normale alla direzione del vento [m<sup>2</sup>] ;

$c_a$  è il coefficiente di forma;

$q_{ha}$  è la pressione dinamica di calcolo in corrispondenza del baricentro geometrico dell'apparecchio.

### 5.19.3 Verifica della sezione di incastro

Utilizzando le forze del vento calcolate, il peso proprio dell'apparecchio e del palo (forniti dai costruttori) si possono determinare le caratteristiche della sollecitazione sul palo dovute alla distribuzione di tali forze.

Il palo viene schematizzato come una trave perfettamente incastrata al suolo e il braccio come una mensola incastrata al palo.

Le sezioni da verificare, in genere, in questo schema sono quella di incastro al suolo, quelle ridotte da eventuali aperture e nella sezione di attacco del braccio al palo.

Il *momento flettente massimo*  $M_v$  [N·m] dovuto all'azione del vento vale :

$$M_v = \sum F_{ci} \cdot h_{ci} + \sum F_{bj} \cdot h_{bj} + F_a \cdot H$$

dove i simboli  $F_{ci}$ ,  $F_{bj}$  e  $F_a$  hanno il significato visto precedentemente, mentre  $h_{ci}$  e  $h_{bj}$  rappresentano l'altezza dal suolo, in metri, del baricentro dell'*i*-esimo elemento del fusto e del *j*-esimo elemento del braccio;  $H$  rappresenta l'altezza del sostegno, in metri.

Le forze dovute al peso proprio del braccio e dell'apparecchio di illuminazione provocano alla base del palo un *momento flettente*  $M_p$  [ $N \cdot m$ ] dato da :

$$M_p = 9,81 \cdot (P_b \cdot d_b + P_a \cdot d_a)$$

dove:

$P_b$  [Kg] è il peso del braccio considerato applicato nel baricentro di questo, situato a distanza  $d_b$  [m] dall'asse del palo;

$P_a$  [Kg] è il peso dell'apparecchio illuminante considerato applicato nel baricentro di questo, situato a distanza  $d_a$  [m] dall'asse del palo.

L'ipotesi più gravosa ai fini della sicurezza consiste nel supporre complanari i due momenti, per cui il momento risultante all'incastro, nel caso di verifica agli Stati Limite Ultimi, sarà uguale alla somma dei suddetti momenti.

Le verifiche da effettuare a questo punto sono le note verifiche della scienza delle costruzioni, dopo aver individuato nella sezione i punti maggiormente sollecitati.

Si fa notare che nel caso si utilizzino apparecchi di illuminazione asimmetrici, il palo sarà soggetto ad un momento torcente che dà luogo ad una tensione calcolabile con la formula di Bredt.

#### 5.19.4 *Verifica di stabilità delle fondazioni*

Si fa riferimento a blocchi di fondazione parallelepipedici, di dimensioni  $a \cdot b$  ed altezza  $c$ , con una piastra metallica di appoggio.

Il *momento ribaltante* vale :

$$M_{ri} = [M_v/H \cdot (H+c) + M_p]/9,81 \quad [\text{Kg} \cdot \text{m}]$$

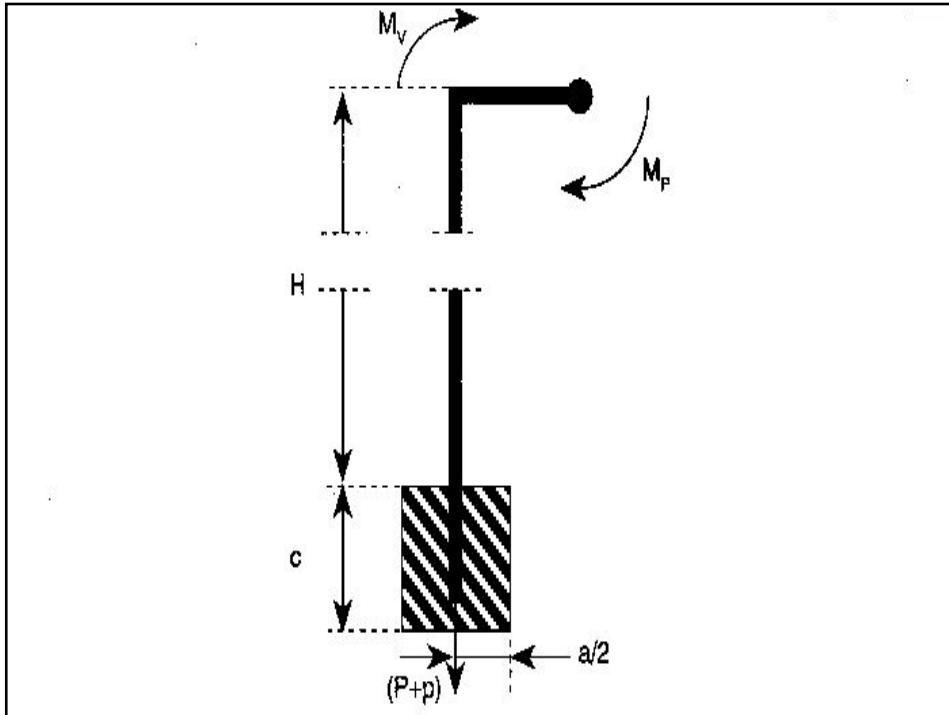


Fig. 4.17 Verifica di stabilità della fondazione

mentre il *momento resistente* nell' ipotesi che si possa tener conto dall'azione del terreno circostante vale :

$$M_{re} = 1100 \cdot b \cdot c^3 + 0,85 \cdot (P+p) \cdot (a/2) \quad [\text{Kg} \cdot \text{m}]$$

Nel caso non si possa tener conto del contributo del terreno nella formula precedente si dovrà

eliminare il termine  $1100 \cdot b \cdot c^3$ .

In questa formula si è assunto :

$P$  = peso in Kg del blocco di fondazione con 2200 peso specifico del CLS

$p$  = peso in Kg del palo e dell'apparecchio illuminante.

Nel caso in cui il palo sia ancorato ad un supporto rigido mediante piastra di appoggio e tirafondi, si dovrà inoltre proceder con una verifica di questi considerandoli soggetti prevalentemente a sforzo normale.

Lo *sforzo normale* a cui è soggetto ciascun *tirafondo*, indicando con  $t$  [mm] la distanza tra gli assi dei tirafondi stessi, sarà :

$$N_t = 10^3 \cdot (M_{max} / 2t) \text{ [N]}$$

dove  $M_{max}$  è il *momento flettente massimo* che si ha alla base del palo.

Si effettua anche una verifica allo sfilamento dei tirafondi tesi controllando che la lunghezza della parte di tirafondo annegata sia maggiore di quella limite, ovvero della lunghezza minima di ancoraggio.

## 5.20 *L'impianto di illuminazione installato*

Per ogni diametro esterno della rotatoria vengono ritenute possibili tutte quelle soluzioni che presentano valori illuminotecnici rispettanti i vincoli imposti dalle normative.

Il primo passo è quello di individuare tra le soluzioni possibili, per entrambe le tipologie di impianto (centrale e periferica), l'installazione ottimale, prendendo in considerazione i seguenti elementi :

- il costo delle lampade;
- le loro efficienze luminose;
- la loro durata;
- il costo dei sostegni;

- il costo degli apparecchi;
- le spese di esercizio (manutenzione e ricambio).

Ciò porta a scegliere installazioni con :

- il minor numero di sorgenti luminose;
- la più bassa potenza necessaria;
- la minore altezza dei sostegni.

Il passo successivo è quello di confrontare tra loro le installazioni delle due diverse tipologie di impiantistica.

Quindi si seguono di nuovo le indicazioni sopra elencate.

Per un confronto diretto delle possibili installazioni in una rotatoria, sono stati costruiti grafici (riportati più avanti) che mettono in relazione le variabili del problema al variare del diametro esterno della rotatoria :

- numero di sorgenti luminose,
- potenza in Watt dell'impianto,
- altezza degli apparecchi,
- installazione periferica o centrale.

Le sorgenti luminose sono tutte lampade agli ioduri metallici dello stesso modello, così come lo sono gli apparecchi illuminanti e i sostegni; per ogni potenza nominale delle lampade, dunque, il costo, l'efficienza e la durata saranno le medesime

Si riportano le principali caratteristiche delle lampade a Ioduri Metallici utilizzate :

Potenza [Watt]	Flusso [lm]	Grado rc	Kelvin	Lumen/Watt	Durata [h]
150	11250	1B	4200	75	6000
250	20000	1B	4200	80	6000
400	38000	1B	4200	95	6000

### 5.21 *Criteri di calcolo*

Come già detto precedentemente, non esistendo una normativa precisa in campo di illuminazione delle rotatorie, ci basiamo sulle normative italiane (UNI 10439 e "Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali") e sulle indicazioni francesi 115/1995 della CIE.

Per il dimensionamento dell' impianto di illuminazione si può seguire un criterio di Luminanza o di Illuminamento.

Le citate norme suggeriscono, nel caso di dimensionamento secondo un criterio della luminanza di classificare la rotatoria in base alla strada affluente più importante, mentre suddividono le rotatorie in 3 classi a seconda della loro dimensione ed importanza.

Nel presente capitolo si è cercato di tenere conto di tale situazione normativa indicando il campo di applicazione della rotatoria (urbano o extraurbano) considerando sia l' importanza e la dimensione della rotatoria stessa sia il tipo di strada affluente.

In tal modo si è potuto studiare l'impianto di illuminazione sia valutando i valori minimi della luminanza media sia di quelli dell'illuminamento medio.

Si riportano, per il diametro esterno di 40 e 45 metri delle nostre rotatorie, le varie tipologie di impianto a confronto e la legenda per la loro lettura (utilizzo lo stesso grafico relativo a rotatorie con diametro esterno di 38 metri perche da studi in materia è stato riscontrato che è idoneo anche per diametri fino a 45 metri) :

- Impianto Centrale - 3 sorgenti
- Impianto Centrale - 4 sorgenti
- Impianto Periferico - 3 sorgenti
- Impianto Periferico - 4 sorgenti

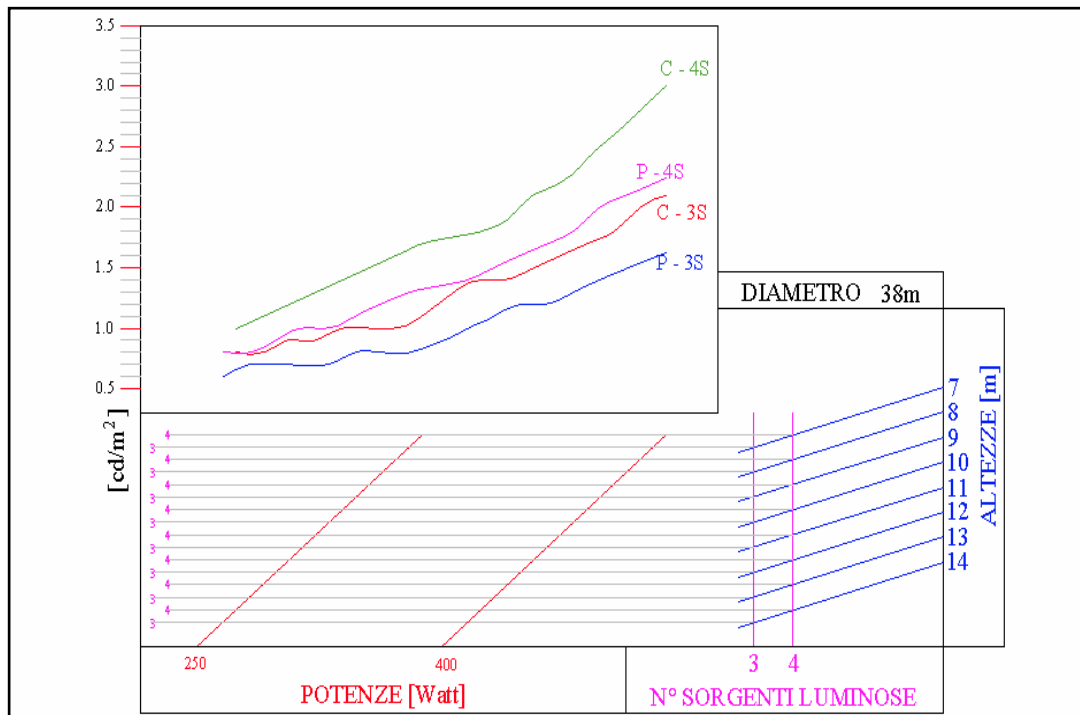


Fig. 4.18 Tipologie di impianto a confronto

Una prima lettura di tali grafici mostra che un impianto centrale con le medesime caratteristiche di un impianto periferico, garantisce, nella maggioranza dei casi, una luminanza maggiore.

Tale situazione non si presenta però per diametri maggiori di 30m con luminanza elevate quali ad esempio  $2,0 \text{ cd/m}^2$ ; in tale circostanza un'istallazione centrale non riesce a raggiungere (a parità di potenza nominale) i valori di luminanza raggiunti da un impianto periferico dalle medesime caratteristiche tecnico-elettriche.

La scelta della tipologia di installazione però può prescindere da altre considerazioni di carattere non solo illuminotecnico: si dovrà tenere presente anche il campo di applicazione della rotatoria (ad es. urbano o extraurbano), l'aspetto economico di installazione e

manutenzione dell'impianto e gli aspetti prestazionali dell'impianto stesso sia in termini geometrici, visivi ed estetici come arredo urbano.

### *5.22 Analisi dei costi*

I prezzi degli apparecchi, lampade e sostegni sono stati ricavati facendo una media dei prezzi resi noti dai vari costruttori (valori monetari anno 2014).

Le altre spese di installazione, stesura e cablaggio dei cavi, scavo dei pozzetti, manodopera, accessori vari per l'impianto elettrico non hanno significative variazioni nel campo di dimensioni delle rotatorie considerate, e sono state quindi considerate costanti.

I prezzi dei vari tipi di impianto considerati, indicano che l'installazione periferica ha un maggiore costo iniziale.

Per un'analisi dei costi si deve però considerare anche l'effetto protratto nel tempo della manutenzione dell'impianto. Si considera la sola manutenzione ordinaria che consiste nella pulizia degli apparecchi e nella sostituzione delle lampade portate a fine vita.

Il tempo necessario per tale operazione (comprensiva anche del posizionamento dell'operatore col cestello in prossimità dell'apparecchio) viene considerato costante per entrambe le tipologie; l'intervento però, nel complesso, sarà più lungo per un impianto periferico dovendosi spostare da una sorgente luminosa all'altra lungo l'anello della rotatoria. Anche se tali operazioni di manutenzione vengono effettuate nelle ore di morbida, quando cioè si presentano condizioni di traffico più agevoli, si avranno comunque dei rallentamenti o ritardi del flusso veicolare causati dalla presenza nella rotatoria dei veicoli adibiti alla manutenzione stessa.

Questi ultimi influiscono in modo diverso sulla circolazione in rotatoria :

- nell'impianto periferico ci si posiziona in prossimità del perimetro esterno della



rotatoria, sormontando in alcuni casi il marciapiede o, se possibile, in spazi esterni.

Considerando che la traiettoria dei veicoli generalmente tende a rimanere tangente l'isola centrale, tale posizione di manutenzione non rallenta molto il flusso veicolare.

- in un impianto centrale si parcheggia a ridosso dell'isola, occupando quindi anche parte dell'anello della rotatoria. Tale posizione, proprio per le traiettorie dei veicoli, rallenta in modo significativo il flusso veicolare.

I rallentamenti incidono su quello che si può definire un costo sociale, monetizzabile ipotizzando un valore monetario ai minuti spesi dall'utenza durante le operazioni di manutenzione. Si può dunque definire un *costo di manutenzione* come :

$$C_m = n \cdot T_1 \cdot S \cdot C_s$$

dove :

$C_m$  = Costo di manutenzione ordinaria [€/anno]

$n$  = numero di interventi in un anno [1/anno]

$T_1$  = Tempo necessario per l'intervento [min]

$S$  = Spesa al minuto del personale ed attrezzature [€/min]

Si valuta il *tempo T1* come :

$$T_1 = n_1 \cdot t_0 + (n_1 - 1) \cdot t_{trasf}$$

dove  $n_1$  rappresenta il numero di lampade,  $t_0$  il tempo di pulizia di un apparecchio e sostituzione della lampada (costante),  $t_{trasf}$  il tempo necessario all'operatore per spostarsi da una sorgente luminosa alla successiva.

Per il *costo sociale* si ipotizza un calcolo del tipo :

$$C_s = t_{rit} \cdot V_{mon} \cdot n_{veic}$$

indicando con :

$t_{rit}$  = frazione di  $T_1$  che incide sul ritardo dei veicoli;

$V_{mon}$  = Valore monetario di un minuto di ritardo per veicolo

$n_{veic}$  = numero di veicoli che subiscono rallentamenti durante il tempo  $T_1$ . Si ottiene dalle indagini di traffico, nel momento di "morbida".

Il *costo*, nel tempo, sarà dato da :

$$C = C_0 + n \cdot C_m$$

dove :

$n$  = anni

$C_0$  = Costo iniziale

In questo modo si potrà valutare l'influenza nel tempo della manutenzione delle due tipologie di impianto.

L'equazione del costo rappresenta una retta e calcolandolo sia per l'impianto di tipo centrale sia di tipo periferico, nel piano cartesiano si ha un andamento del tipo :

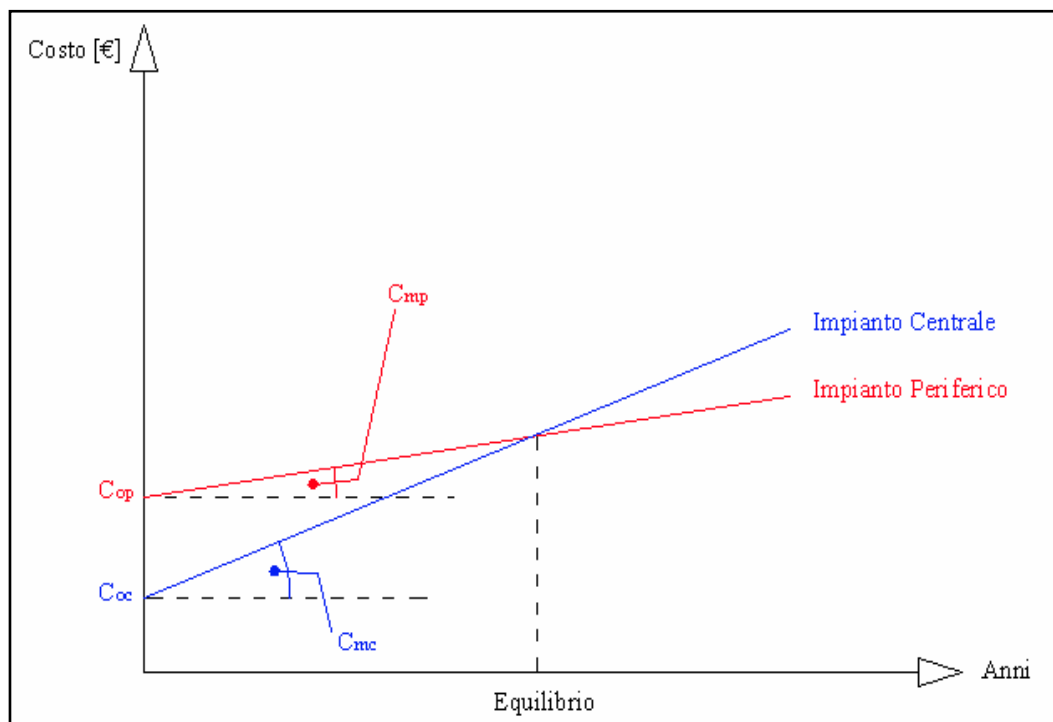


Fig. 4.19 Equazioni di costi per i due tipi di impianti

Il costo di manutenzione rappresenta dunque il loro coefficiente angolare, e il punto di intersezione indica la situazione di equilibrio dei due impianti in termini di costo/anno, oltre e prima del quale è preferibile un'installazione piuttosto dell'altra; è quindi il numero di anni necessario per ammortizzare la spesa iniziale di ciascun impianto.

### 5.23 Conclusioni sui costi

I risultati ottenuti precedentemente per ciascun tipo di rotatoria vengono riportati in un grafico Diametri – Prestazioni/Costi.

Per quanto riguarda i costi si intende sia i costi iniziali di installazione, sia quelli di esercizio e manutenzione. Per prestazioni dell'impianto si intendono qualità dell'impianto da un punto di vista illuminotecnico quali :

- Luminanza media della superficie stradale,
- Uniformità di Luminanza,
- Illuminamento della superficie;

da un punto di vista Geometrico – Visivo:

- Percezione di una rotatoria, evidenziare cioè la discontinuità del percorso lineare,
- Ottima visibilità, leggibilità della rotatoria;

e infine da un punto di vista di Arredo Urbano :

- Area centrale ben illuminata,
- Illuminare eventuali arredi urbani e percorsi pedonali.

Nel grafico si evidenzia che ad un valore maggiore del rapporto P/C corrisponde la scelta ottimale dell'impianto :

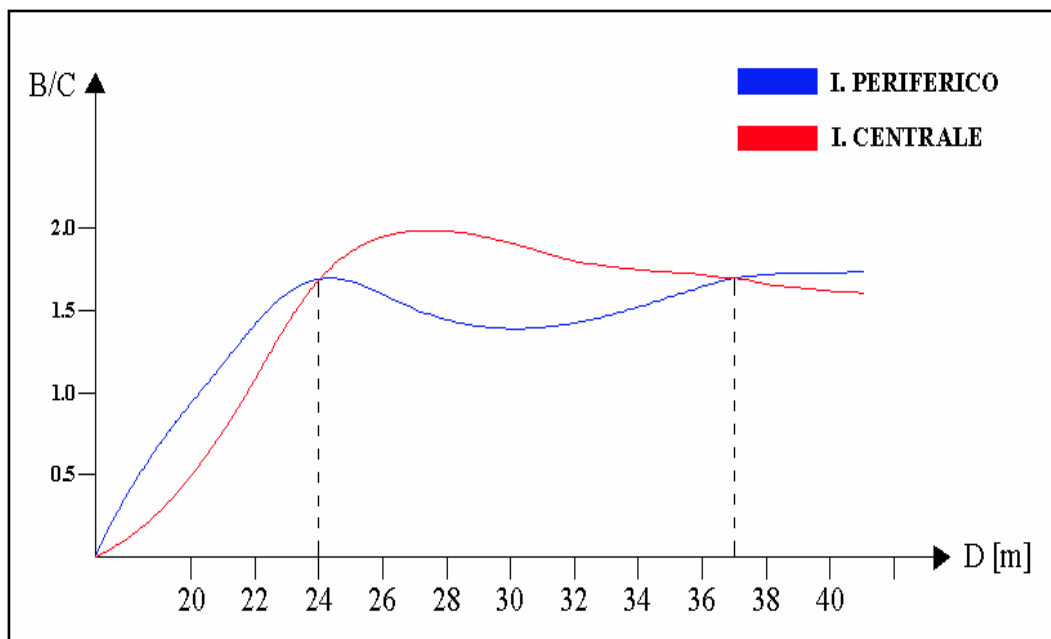


Fig. 4.20 Rapporto P/C per i due tipi di impianto

## 5.24 Le rotatorie in esame

Le rotatorie gemelle oggetto di questa tesi di laurea si trovano in prossimità della zona di accesso al centro abitato di Porto Ercole – Grosseto; una di esse riguarda l'intersezione

tra la SP 2 Orbetellana, via dell'Aquilino e via Libeccio, mentre l'altra interessa la SP 2 Orbetellana e via Libeccio.

Le rotatorie hanno un diametro esterno di 40 metri e 45 metri, e sono una a tre rami e l'altra a quattro rami. Per quanto riguarda le dimensioni delle entrate e delle uscite, si osservano entrate a una corsie larghe 3,5 metri e uscite ad una corsia di larghezza 4,5 metri. Le rotatorie presentano una fascia sormontabile che circonda l'isola centrale.

#### *5.24.1 Analisi degli impianti di illuminazione installati*

La soluzione adottata per l'illuminazione è unica per entrambe le rotatorie, in quanto differiscono in maniera irrilevante l'una dall'altra.

#### *5.24.2 Caratteristiche Tecniche ed Illuminotecniche*

Il sistema di illuminazione scelto per le due rotatorie è caratterizzato da tre sorgenti luminose sulla sommità di un palo di altezza pari a 17 metri . Queste sono caratterizzate da una potenza nominale di 400 Watt.

#### *5.24.3 Caratteristiche delle lampade*

Nella tabella sottostante sono riportate le caratteristiche tecniche ed elettriche della lampada utilizzata :

<b>Lamp Type</b>	SINGLE ENDED METAL HALIDE
<b>Control Gear</b>	MERCURY BALLAST + IGNITOR
<b>Performance Data</b>	
<i>Light Output (Lumens @ 100 Hrs.)</i>	36000 V / 32400 H
<i>Lamp Lumens Per Watt</i>	90
<i>Rated Life (Hrs. @ 10 Hr. / Start)</i>	15000 V / 11250 H
<i>Correlated Colour Temperature K</i>	4000
<i>Chromaticity (CIE -X,Y)</i>	.385 .390
<i>Colour Rendering Index (CRI) or (Ra)</i>	65
<i>Typical Warm Up Time (Minutes)</i>	3-5
<i>Typical Hot Restart Time (Minutes)</i>	10-15
<i>Burning Position</i>	UNIVERSAL
<b>Physical Data / Requirements</b>	
<i>Base Designation</i>	E40/45
<i>Bulb Designation</i>	T46
<i>Bulb Diameter</i>	46 mm
<i>Max. Overall Length</i>	285 mm
<i>Light Centre Length</i>	175 mm
<i>Effective Arc Length</i>	35.4 mm
<i>Max. Base Temperature (°C)</i>	250
<i>Max. Bulb Temperature (°C)</i>	500
<i>Luminaire Type</i>	ENCLOSED
<i>Socket Pulse Rating (KV)</i>	4
<b>Electrical Data / Requirements</b>	
<i>IEC Standard</i>	-
<i>Lamp Wattage</i>	400
<i>Operating Voltage</i>	135
<i>Operating Current (Amps)</i>	3.2
<i>Min. Open Circuit Voltage (RMS)</i>	198
<i>Min. Starting Pulse (Peak V)</i>	600
<i>Min. Pulse Width at 540 (microseconds)</i>	260
<i>Min. Pulse Rate Per Cycle</i>	1
<i>Pulse Position (Electrical Degrees)</i>	60-90

Fig. 4.21 Caratteristiche tecniche-elettriche lampada HIT 400W/HOR/EURO/4K

La lampada è caratterizzata da un flusso di 36000 lm, un rendimento di 90 lm/W, una temperatura di colore di 4000 K e un indice di resa cromatica  $R_a$  di 65.

#### 5.24.4 *Palo centrale*

I tre apparecchi di illuminazione sono sorretti da un sistema illuminante architettonico composto da un'unica unità di supporto di acciaio calmato del tipo S 275jr-en 10025-95, ottenuta mediante laminazione a caldo (700°) e successivamente zincato a caldo secondo la UNI-EN 40/4.

- sezione poligonale /rotonda a 12 lati

- profilo tronco conico
- diametro di base 600mm
- diametro di sommità max. 270 mm
- lunghezza totale 17000mm

#### 5.24.5 *Apparecchi di illuminazione*

L'apparecchio di illuminazione è conforme alle normative CEI e presenta un grado di protezione IP65, vano ottico e IP43, vano ausiliario ed è costruito in fusione d'alluminio UNI EN 1706. E' composto da:

- Un corpo superiore di forma ovale (A) in fusione di alluminio.
- Un telaio inferiore (B) in fusione di alluminio. Il telaio è unito al corpo ad un'estremità da due cerniere d'acciaio inox e all'altra da una vite manovrabile per mezzo di una normale chiave fissa.
- Uno schermo (C) in vetro temperato.
- Un riflettore (D) di alluminio anodizzato, con una forma tale da realizzare una distribuzione del flusso luminoso di tipo asimmetrico, prevalentemente trasversale.
- Un riflettore (E) in acciaio zincato e verniciato bianco, con funzione di sorreggere l'ottica stradale.
- Una piastra (F) in acciaio zincato sulla quale è fissato il gruppo di alimentazione (G)
- Portalampada E27 o E40
- Viti in acciaio inox.

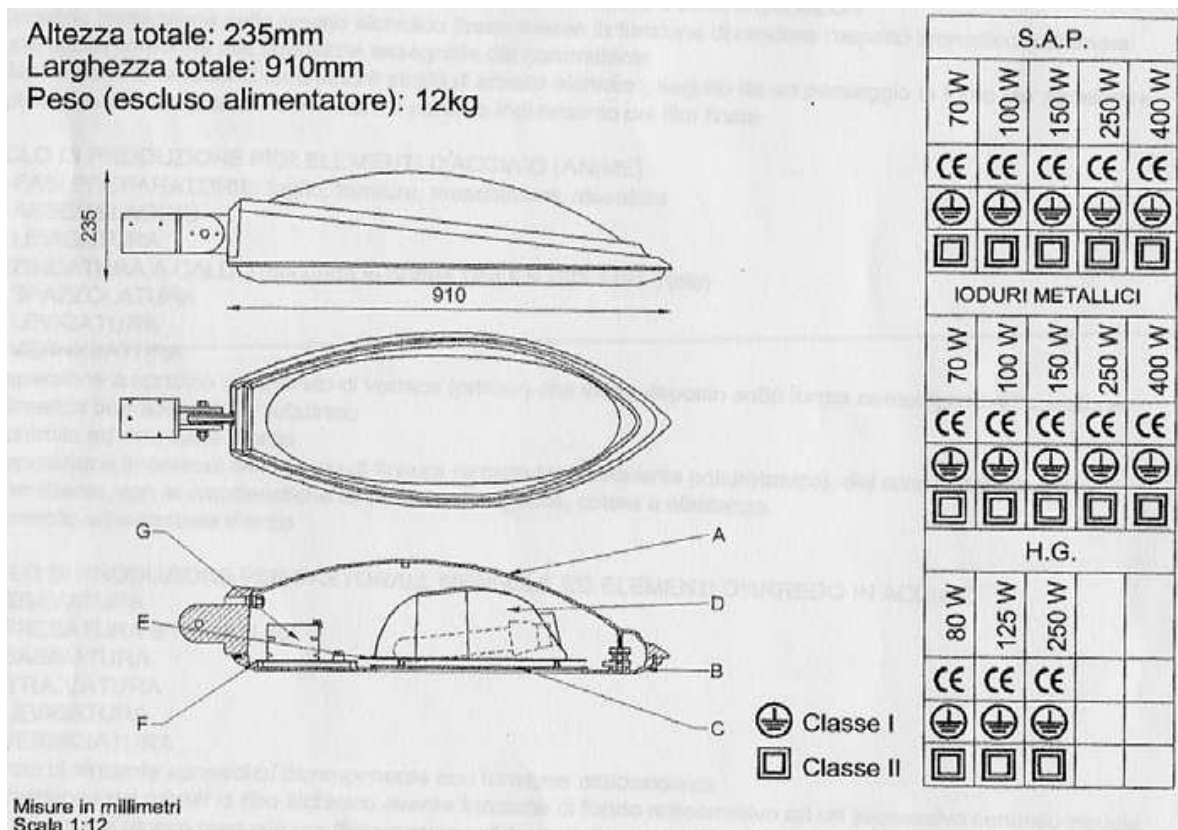


Fig. 4.22 Apparecchio Illuminante Caratteristiche Tecniche – Geometriche

#### 5.24.6 Qualità dell'impianto

Come parametri di qualità dell'impianto si prendono in considerazione l'Illuminamento  $E$ , la Luminanza media  $L$ , l'Uniformità di Luminanza  $U_0$  della superficie stradale e l'Inquinamento luminoso definito dal rapporto  $R_n$ .

L'impianto di illuminazione in questione è caratterizzato dai seguenti valori :

Parametri	Medio	Minimo	Min/Medio
Illuminamento E	27 lux	8 lux	0,30
Luminanza L	1,1 cd/m <sup>2</sup>	0,3 cd/m <sup>2</sup>	0,27
Rapporto R <sub>n</sub>	0,00%		



### 5.25 *Scelte Conclusive*

Come visto nei paragrafi precedenti la scelta di un tipo di installazione piuttosto di un altro, deve prendere in considerazione numerose variabili che influiscono nel problema più o meno significativamente a seconda dei punti vista progettuali.

Si deve cioè tenere conto dei parametri illuminotecnici più importanti, quali la luminanza media, l'uniformità di luminanza e l'illuminamento della superficie stradale, ma anche degli aspetti geometrici e visivi, quali un'altezza delle sorgenti proporzionata alle esigenze e al contesto della rotatoria, un'identificazione immediata e semplice della presenza della rotatoria stessa, e ancora della funzione di arredo urbano svolta dalla rotatoria e dal suo impianto di illuminazione.

Inoltre, e sicuramente non meno importante, devono essere valutati i costi, sia quelli iniziali sia quelli di esercizio e manutenzione; in tale contesto si dovranno conoscere le specifiche tecniche dell'impianto, quali la potenza, le modalità di alimentazione elettrica e i vari accessori per un funzionamento ottimale dell'impianto stesso.

Lo scopo di questo studio è stato quello di trovare la miglior tipologia di illuminazione da installare.

Si è arrivati alla conclusione di installare una struttura centrale formata da un palo sormontato da tre impianti di illuminazione di colore giallo/arancio delle caratteristiche sopra riportate.

### 5.26 *Come migliorare la visione delle rotatorie*

Nel caso di allestimenti dell'isola centrale ridotti o comunque snelli, la visione della rotatoria non è eccellente, perciò questa può essere migliorata attraverso l'uso di particolari elementi rafforzativi della segnaletica orizzontale previsti dalle "*Norme funzionali per la progettazione delle intersezioni stradali*".

L'elenco di questi elementi viene riportato qui di seguito:

Dispositivi ad effetto ottico: sono realizzati mediante l'applicazione in serie di almeno 4 strisce bianche rifrangenti con larghezza crescente nel senso di marcia e distanziamento decrescente. La prima striscia deve essere larga 20 cm, mentre le successive devono essere incrementate di almeno 10 cm rispetto alla precedente.

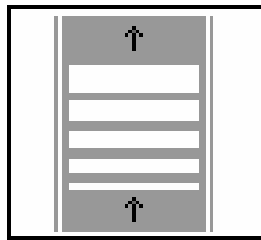


Fig. 4.23 Esempio di dispositivo ad effetto ottico

Dispositivi ad effetto acustico: sono realizzati mediante l'applicazione di strati sottili di materiale in rilievo, eventualmente integrati con dispositivi rifrangenti. L'effetto vibratorio di intensità limitata indica al conducente l'incombere dell'intersezione.



Fig. 4.24 Esempio di dispositivo ad effetto acustico

Markers (occhi di gatto): led alimentati da minuscoli pannelli solari ed attivati da pannelli crepuscolari. Posizionati su strisce orizzontali o sul bordo dell'isola centrale per dirigere la corrente veicolare ed evidenziare ostacoli durante le ore notturne.



Fig. 4.25 Esempio di marker stradale

Pannelli delineatori: usati in curva per evidenziare maggiormente l'andamento della strada, soprattutto se usati in serie, di altezza 1,25 m.

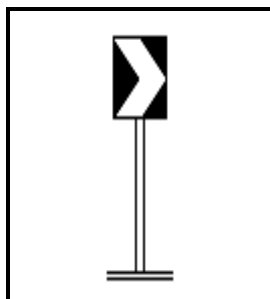


Fig. 4.26 Esempio di pannello delineatore

Delineatori normali di margine: elementi di altezza fuori terra compresa tra 70 e 110 cm, sezione trapezoidale con spigoli arrotondati e lato minore parallelo alla strada. Sono installati nei luoghi dove è necessario visualizzare a distanza l'andamento della strada,

spaziati in rettilineo al massimo di 50 cm e infittiti in curva in funzione del raggio di curvatura.

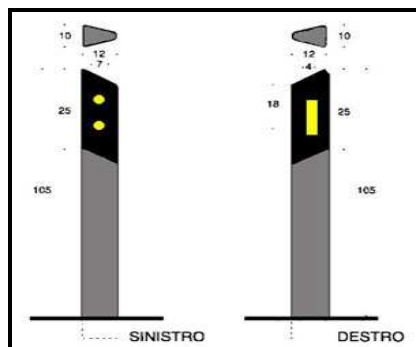


Fig. 4.27 Esempio di delineatore normale di margine

## Dimensionamento idraulico

Questo studio idrologico viene effettuato a supporto della ipotetica realizzazione di due rotatorie gemelle alle porte del centro abitato di Porto Ercole per migliorare la sicurezza dell'accessibilità allo stesso.

### 6.1 *Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti idraulici*

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica molto elevata ed elevata è necessario rispettare i seguenti caratteri generali:

- Non sono da prevedersi interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture per i quali non sia dimostrabile il rispetto di condizioni di sicurezza o non sia prevista la preventiva o contestuale realizzazione di messa in sicurezza per interventi con tempo di ritorno di 200 anni;
- Nelle aree che risultino soggette a inondazioni con tempi di ritorno inferiori a 20 anni sono consentite solo nuove previsioni per infrastrutture a rete non diversamente localizzabili, per le quali sarà comunque necessario attuare tutte le dovute precauzioni per la riduzione del rischio a livello compatibile con le caratteristiche dell'infrastruttura;
- Gli interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi idrologici ed idraulici, non devono aumentare il livello di rischio in altre aree con riferimento anche agli aspetti dell'eventuale incremento dei picchi di piena a valle;

- Relativamente agli interventi di nuova edificazione previsti nel tessuto insediativo esistente, la messa in sicurezza rispetto ad eventi con tempo di ritorno di 200 anni può essere conseguita anche tramite adeguati sistemi di auto sicurezza , nel rispetto delle seguenti condizioni:
  1. Dimostrazioni dell'assenza o dell'eliminazione di pericolo per le persone ed i beni
  2. Dimostrazione che gli interventi non determinano aumento delle pericolosità in altre aree;
- Possono essere previsti interventi per i quali venga dimostrato che la loro natura è tale da non determinare pericolo per persone e beni, da non aumentare la pericolosità in altre aree e purché siano adottate, ove necessario, idonee misure atte a ridurre la vulnerabilità;
- Della sussistenza delle condizioni di cui sopra deve essere dato atto anche nel procedimento amministrativo relativo al titolo abilitativo all'attività edilizia;
- Fino alla certificazione dell'avvenuta messa in sicurezza conseguente la realizzazione e il collaudo delle opere idrauliche accompagnata dalla delimitazione delle aree risultanti in sicurezza, non può essere rilasciata dichiarazione di abitabilità ed agibilità;
- Deve essere garantita la gestione di quanto in essere tenendo conto della necessità di raggiungimento anche graduale di condizioni di sicurezza idraulica fino a  $T_R = 200$  per il patrimonio edilizio e infrastrutturale esistente e per tutte le funzioni connesse.

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica media, per gli interventi di nuova edificazione e infrastrutturale esistente e per tutte le funzioni connesse.

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica media per gli interventi di nuova edificazione e per le nuove infrastrutture possono non essere dettate condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere idraulico. Qualora si voglia perseguire un maggior livello di sicurezza idraulica, possono essere indicati i necessari accorgimenti costruttivi per la riduzione della vulnerabilità delle opere previste o individuati gli interventi da realizzare per la messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni, tenendo conto comunque della necessità di non determinare aggravii di pericolosità in altre aree.

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica bassa non è necessario indicare specifiche condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere idraulico.

Sulla base di queste richieste normative si individuano i corsi d'acqua del reticolo significativo individuato dal Piano di Assetto Idrogeologico, che interessano le nuove previsioni edificatorie nel loro successivo sviluppo previsto.

Gli studi idrologici ed idraulici sono determinare in maniera compiuta e accurata le possibili aree di esondazione che interessano le zone del previsto sviluppo urbanistico.

Nello specifico di questo studio si considerano le seguenti aree per le verifiche:

- Porto Ercole nell'area del fosso che sfocia nel porto di Cala Galera e di quello che sfocia in prossimità della spiaggia adiacente al porto stesso.

Nei paragrafi successivi si descrivono le ipotesi della valutazione idrologica e delle verifiche idrauliche condotte in ciascuna situazione.

Le valutazioni sono finalizzate ad individuare le aree con pericolosità idrauliche con vari tempi di ritorno, in particolare 20, 30 e 200 anni.

Questo permette di individuare le aree di in edificabilità (aree interessate dalle fondazioni con tempi di ritorno inferiori a 20 anni), di pericolosità idraulica elevata (aree interessate

dalle esondazioni con tempi di ritorno inferiori a 30 anni) e di pericolosità molto elevata (area interessata dalle esondazioni con tempi di ritorno inferiori a 200 anni).

## 6.2 *Modello idrologico*

### 6.2.1 *Pluviometria*

La pluviometria è stata individuata attraverso i dati relativi al pluviometro di Orbetello (GR), in quanto è il più vicino e quello con una serie di dati sufficiente da garantire una corretta estrapolazione delle curve di possibilità pluviometrica anche per situazioni estreme; inoltre la posizione di questo pluviometro è compatibile da un punto di vista meteorologico con le aree da studiare.

Per i diversi bacini vengono considerate le curve di possibilità pluviometrica per eventi sopra l'ora distinguendo gli studi sulla base dei diversi tipi di corrivazione.

Le curve di possibilità pluviometrica vengono determinate nelle seguenti ipotesi:

- Fattori di ragguaglio mensili unitari per tutti i mesi dell'anno;
- Trattamento statistico dei valori delle piogge massime con i metodi di Gumbel, normale e lognormale, con la determinazione delle piogge massime a 1, 3, 6, 12 e 24 ore, ai diversi tempi di ritorno;
- L'individuazione dei coefficienti  $a$  e  $n$  delle curve di possibilità pluviometrica con il metodo degli involucri per ciascun pluviometro;
- Nessuna riduzione dei valori delle piogge per la dimensione del bacino, considerato che le superfici sono ridotte e quindi sono sensibili ad eventi concentrati.

Dalle tabelle seguenti si estraggono i seguenti valori dei coefficienti  $a$  e  $n$  delle curve di possibilità pluviometriche del bacino per i vari tempi di ritorno:



DISTRIBUZIONE DI GUMBEL				
Tempo di ritorno (anni)	Pluviometro Orbetello			
	Minimi quadrati		Involuppo	
	a	n	a	n
5	41.31	0.26	46.66	0.21
10	49.13	0.26	55.19	0.22
20	56.64	0.26	63.38	0.22
30	60.95	0.27	68.09	0.22
100	73.62	0.27	81.94	0.23
200	80.88	0.27	89.87	0.23
500	90.44	0.27	100.33	0.23

Tabella 1.a – Coefficienti delle curve di possibilità pluviometrica - Distribuzione di Gumbel

DISTRIBUZIONE NORMALE				
Tempo di ritorno (anni)	Pluviometro Orbetello			
	Minimi quadrati		Involuppo	
	a	n	a	n
5	42.95	0.26	48.44	0.21
10	48.83	0.26	54.86	0.22
20	53.69	0.26	60.16	0.22
30	56.22	0.26	62.92	0.22
100	62.80	0.27	70.11	0.22
200	66.14	0.27	73.76	0.23
500	70.18	0.27	78.18	0.23

Tabella 1.b – Coefficienti delle curve di possibilità pluviometrica - Distribuzione Normale

DISTRIBUZIONE NORMALE				
Tempo di ritorno (anni)	Pluviometro Orbetello			
	Minimi quadrati		Involuppo	
	a	n	a	n
5	41.97	0.24	48.70	0.18
10	50.97	0.23	59.79	0.17
20	59.84	0.23	70.84	0.16
30	65.05	0.23	77.38	0.16
100	80.86	0.22	97.37	0.15
200	90.28	0.22	109.39	0.14
500	103.18	0.21	125.96	0.14

Tabella 1.c – Coefficienti delle curve di possibilità pluviometrica - Distribuzione Lognormale

### 6.2.2 Pluviometria di progetto

Per la determinazione degli ideogrammi di piena in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino esaminato si è utilizzato un modello matematico di trasformazione afflussi-deflussi basato sull'impiego dell'idrogramma sintetico del Soil Conservation Service; nel caso specifico è stato adottato, per simulare le perdite di bacino, il metodo SCS – CURVE NUMBER, che è basato sulle curve di precipitazione e perdita cumulate ed in

cui, in funzione del tipo di suolo, del suo uso e del grado di imbibizione dello stesso, viene calcolato istante per istante il quantitativo di pioggia che va a produrre il deflusso.

Tale metodo è molto diffuso, soprattutto grazie alla notevole mole di dati reperibili in letteratura per la sua applicazione, e permette di calcolare l'altezza di pioggia persa fino ad un dato istante attraverso la valutazione dell'altezza di pioggia massima immagazzinabile nel suolo a saturazione (S), il cui valore viene determinato attraverso un parametro detto CN (Runoff Curve Number) il quale è funzione della natura del terreno, del tipo di copertura vegetale dello stesso e del corrispondente grado di imbibizione.

La classificazione dei suoli secondo la natura del terreno da un punto di vista idrogeologico è riportato nella tabella 2. Una volta definito il tipo di suolo si determina il valore del CN corrispondente al tipo di copertura (vegetale e non) attraverso l'uso della tabella 3. I valori riportati nella tabella 3 sono relativi a condizioni medie di umidità del terreno antecedenti l'evento, definito attraverso il valore della precipitazione totale dei cinque giorni precedenti l'evento stesso (AMC II).

L'individuazione della classe AMC viene effettuata con i valori riportati in Tabella 4, mentre la Tabella 5 rappresenta la tabella di conversione del valore CN valido per AMC II (valore determinato attraverso la Tabella 2) ai valori corrispondenti per AMC I o AMC III.

Per la valutazione dell'uso del suolo e della litografia del bacino si è fatto riferimento alla cartografia informatizzata regionale.

GRUPPO	DESCRIZIONE
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarissimo limo e argilla, ghiaie profonde molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid, anche se se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Tabella 2 - Classificazione litologica dei suoli secondo SCS

	A	B	C	D
Terreno coltivato				
Senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
Con interventi di conservazione	62	71	78	81
Terreno da pascolo				
Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone condizioni	39	61	74	80
Praterie				
Buone condizioni	30	58	71	78
Terreni boscosi o forestali				
Terreno sottile sottobosco povero senza foglie	45	66	77	83
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti, prati rasati, parchi				
Buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
Condizioni normali con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali con impermeabilità media:				
65%	77	85	90	92
38%	61	75	83	87
30%	57	72	81	86
25%	54	70	80	85
20%	51	68	79	84
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
Strade				
Pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Tabella 3 - Parametri CN relativi a AMC II per le quattro classi litologiche e per vari tipi di uso del suolo

Classe AMC	Stagione di riposo (mm)	Stagione di crescita (mm)
I	< 12.7	< 35.5
II	12.7 -- 28.0	35.5 -- 53.3
III	> 28.0	> 53.3

Tabella 4. - Condizioni di umidità antecedenti individuate in base alla pioggia totale nei 5 giorni precedenti

Classe AMC			Classe AMC		
I	II	III	I	II	III
100	100	100	40	60	78
87	95	98	35	55	74
78	90	96	31	50	70
70	85	94	22	40	60
63	80	91	15	30	50
57	75	88	9	20	37
51	70	85	4	10	22
45	65	82	0	0	0

Tabella 5 – Conversione dei valori AMC II ai corrispondenti valori AMC I e AMC III

In base alla geologia ed all'uso del suolo come sopra descritti, è stato assunto il valore del parametro CN per il bacino studiato in dettaglio.

Dai valori del parametro CN, per la determinazione della pioggia netta è stata utilizzata l'espressione:

$$P_n = \frac{(P_g - I_a)^2}{P_g - I_a + S}$$

Dove:

$P_n$  pioggia netta in mm

$P_g$  pioggia grezza in mm

$I_a$  perdita iniziale in mm

$S$  altezza di pioggia massima immagazzinabile nel suolo in condizioni di saturazione (capacità di ritenzione potenziale) in mm. Il valore di  $S$  da introdurre viene determinato in funzione del parametro CN secondo l'espressione seguente:

$$S = 25,4 \cdot \left( \left( \frac{1000}{CN} \right) - 10 \right)$$

La perdita iniziale  $I_a$  è quella che si manifesta prima dell'inizio dei deflussi superficiali. Nella letteratura tecnica è riconosciuta l'esistenza di una correlazione positiva tra la perdita iniziale e  $I_a$  e la capacità di ritenzione potenziale  $S$  tramite la seguente espressione:

$$I_a = \beta \cdot S$$

Dove  $\beta$  è un coefficiente adimensionale assunto nel caso specifico pari a 0,2.

Sulla base delle perdite sopra indicate in funzione del tempo si sono determinati i pluviogrammi depurati sia cumulati che istantanei.

Con diversi metodi di trasformazione afflussi – deflussi sono stati individuati gli ideogrammi. I metodi e le relative formule utilizzate sono stati i seguenti:

- Metodo di Nash

La formula utilizzata per la determinazione dell'idrogramma sulla base del diagramma della pioggia depurata come sopra determinato è stata la seguente:

$$Q(m \cdot \Delta t) = \frac{S}{k \cdot \Gamma(n)} \cdot \sum_{i=1}^m e^{-i \cdot \Delta t / k} \cdot \left( \frac{i \cdot \Delta t}{k} \right)^{n-1} \cdot J_{m-1+i} \cdot \Delta t$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

$S$  superficie del bacino

$n$  = coefficiente caratteristico del bacino

$k = 3,12$  coefficiente caratteristico del bacino

$j$  valore istantaneo della pioggia

- Metodo della corrivazione

La formula utilizzata per la determinazione dell'idrogramma sulla base del diagramma della pioggia depurata come sopra determinato è stata la seguente, nell'ipotesi di linearità della curva aree-tempi che rappresenta in ordinata le aree  $s$  del bacino comprese tra la sezione di chiusura e la linea isocorriva relativa al tempo  $t$ :

$$Q(m \cdot \Delta t) = \frac{s}{T_c} \cdot \sum_{i=1}^m J_{m-1+i} \cdot l \cdot \Delta t$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

$T_c$  tempo di corrivazione del bacino

- Metodo dell'invaso lineare

La formula utilizzata per la determinazione dell'idrogramma sulla base del diagramma della pioggia depurata come sopra determinato è stata la seguente:

$$Q(m \cdot \Delta t) = \frac{S}{K} \cdot \sum_{i=1}^m e^{-i \cdot \Delta t / K} \cdot J_{m-1+i} \cdot l \cdot \Delta t$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

$K = 0,7 \cdot T_c$  coefficiente caratteristico del bacino che rappresenta il rapporto tra il volume invasato e la portata in uscita ( $W/Q$ )

I valori e i diagrammi delle portate alla sezione di chiusura dei bacini considerati vengono riportati negli allegati alla seguente relazione.

Nel caso dei bacini minori si individuano le portate massime con il metodo classico di Giandotti, individuando il tempo caratteristico di ogni bacino e successivamente nelle seguenti forme:

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_{med}}}$$

Dove:

$S$  superficie del bacino idrografico in chilometri quadrati

$L$  lunghezza dell'asta del corso d'acqua in chilometri

$H_{med}$  altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura in metri

Una valutazione sommaria delle portate viene effettuata con le seguenti due formule, mentre quella definitiva si determina con gli ideogrammi precedentemente individuati

$$Q = \frac{277 \cdot 0,48 \cdot h(t_c) \cdot S}{0,80 \cdot t_c} \quad \text{Prof. Peruginelli}$$

$$Q = 166 \cdot \frac{h(t_c) \cdot S}{0,80 \cdot t_c} \quad \text{Prof. Da Deppo}$$

Dove:

$277$  coefficiente di ragguaglio delle unità di misure

$0,48$  coefficiente di deflusso

$166$  coefficiente funzione dell'estensione del bacino idrografico

$h(t_c)$  altezza di pioggia massima per il tempo di corrivazione del bacino idrografico

$S$  superficie del bacino idrografico

$t_c$  tempo di corrivazione del bacino idrografico

### 6.2.3 Portate massime

Sulla base dei calcoli idrologici illustrati nei precedenti paragrafi si ottengono le portate massime che vengono utilizzate per le verifiche idrauliche delle sezioni.

Affinchè si abbia una ragionevole certezza sui valori delle portate massime da utilizzare si sono considerate diverse ipotesi nella valutazione degli ideogrammi, quindi mantenendo uno istogramma costante si sono considerati incroci di diversi metodi per la formazione della piena (metodi di Nash, metodo di corrivazione e metodo dell'invaso lineare) con diversi metodi per l'elaborazione statistica al fine di determinare le curve di possibilità pluviometrica (distribuzione di Gumbel, distribuzione Normale e distribuzione Lognormale). Per tutte queste possibilità si sono determinate le portate di picco che vengono riassunte nella tabella riportata in allegato

Nel caso di bacini con tempi di corrivazione minori, prossimi all'ora, si considerano le curve di possibilità pluviometrica che derivano dal metodo statistico lognormale ottenute col *metodo dei minimi quadrati*, anziché col metodo degli inviluppi. Questo perché nel caso in oggetto (pluviometro di Orbetello (GR) e con tempi di corrivazione prossimi all'ora) lo scostamento che si verifica tra i valori effettivi di pioggia del pluviometro e quelli derivanti dalla curva di possibilità climatica derivante con il *metodo degli inviluppi*, risulta particolarmente elevato. Al contrario l'applicazione della curva di possibilità climatica derivante dal *metodo dei minimi quadrati* risulta perfettamente in linea con i valori determinati con gli altri metodi di trattamento statistico dei dati di pioggia (Gumbel e metodo normale).

Di seguito vengono riportate tutte le tabelle relative al calcolo dei dati necessari al dimensionamento idraulico dei fossi di guardia, tombini e fognature.



**DATI DI PIOGGIA - PLUVIOMETRO DI ORBETELLO**

Dati ragguagliati e valori per la determinazione delle curve di possibilità pluviometriche

*Orbetello*

Anno	1 ora	Mese	3 ore	Mese	6 ore	Mese	12 ore	Mese	24 ore	Mese
1923	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1924	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1925	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1926	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1927	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1928	0.00	n.d.	60.00	1	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1929	30.00	1	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1930	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1931	0.00	n.d.	40.00	1	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1932	40.20	1	55.80	1	72.80	1	76.20	1	90.00	1
1933	39.80	1	48.20	1	54.20	1	67.20	1	70.80	1
1934	46.00	1	67.00	1	83.00	1	83.80	1	88.00	1
1935	35.60	1	49.40	1	55.80	1	55.80	1	62.20	1
1936	27.80	1	57.00	1	71.40	1	72.20	1	76.50	1
1937	34.00	1	49.00	1	50.00	1	58.00	1	56.00	1
1938	17.80	1	32.00	1	40.00	1	42.80	1	56.60	1
1939	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1940	60.00	1	62.80	1	63.00	1	63.00	1	64.80	1
1941	61.20	1	68.80	1	68.40	1	69.40	1	70.00	1
1942	21.00	1	28.80	1	28.20	1	28.40	1	33.80	1
1943	18.00	1	24.00	1	47.40	1	53.00	1	65.00	1
1944	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1945	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1946	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1947	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1948	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1949	30.80	1	42.40	1	42.60	1	42.60	1	42.60	1
1950	20.40	1	55.80	1	47.60	1	54.80	1	72.60	1
1951	76.00	1	87.00	1	91.40	1	92.20	1	130.20	1
1952	11.20	1	13.00	1	20.40	1	23.40	1	25.20	1
1953	42.00	1	56.80	1	75.00	1	81.60	1	113.60	1
1954	27.60	1	45.20	1	50.00	1	61.40	1	83.80	1
1955	51.60	1	55.00	1	55.00	1	55.40	1	56.60	1
1956	20.00	1	31.00	1	34.00	1	54.00	1	65.60	1
1957	35.00	1	41.80	1	41.80	1	43.40	1	45.40	1
1958	45.80	1	48.40	1	48.40	1	49.00	1	58.60	1
1959	18.60	1	22.00	1	36.00	1	46.40	1	45.60	1
1960	14.60	1	23.80	1	25.80	1	27.60	1	42.00	1
1961	20.80	1	41.00	1	48.80	1	56.20	1	57.00	1
1962	48.40	1	55.40	1	55.40	1	64.00	1	66.40	1
1963	28.00	1	44.40	1	47.80	1	54.00	1	54.20	1
1964	29.00	1	43.60	1	49.60	1	53.00	1	60.60	1
1965	25.00	1	32.40	1	38.40	1	43.20	1	45.20	1
1966	44.00	1	100.20	1	140.20	1	194.20	1	232.20	1
1967	19.00	1	25.00	1	25.00	1	39.60	1	47.20	1
1968	46.00	1	53.80	1	54.40	1	54.40	1	54.40	1
1969	35.80	1	46.80	1	48.40	1	48.60	1	58.80	1
1970	26.00	1	28.60	1	30.00	1	35.40	1	35.80	1
1971	23.80	1	48.00	1	68.00	1	80.00	1	86.40	1
1972	20.40	1	34.20	1	44.20	1	69.00	1	69.60	1
1973	23.20	1	25.20	1	37.00	1	43.80	1	49.80	1
1974	20.00	1	27.20	1	46.80	1	62.60	1	75.80	1
1975	42.20	1	65.20	1	65.20	1	77.80	1	90.20	1
1976	30.40	1	38.20	1	38.20	1	38.20	1	61.20	1
1977	29.40	1	34.60	1	34.60	1	37.00	1	37.20	1
1978	10.00	1	13.40	1	16.80	1	27.00	1	42.40	1
1979	24.40	1	50.20	1	87.60	1	93.40	1	133.20	1
1980	21.80	1	58.80	1	78.20	1	90.60	1	102.60	1
1981	20.80	1	29.00	1	37.40	1	47.00	1	61.00	1
1982	33.20	1	72.60	1	101.60	1	113.00	1	114.00	1
1983	40.00	1	51.00	1	60.20	1	63.40	1	66.40	1
1984	42.60	1	70.00	1	98.20	1	93.00	1	93.00	1
1985	12.00	1	14.60	1	18.00	1	21.00	1	33.00	1
1986	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.	0.00	n.d.
1987	40.40	1	68.80	1	69.40	1	86.80	1	98.20	1
1988	22.20	1	30.20	1	31.80	1	39.00	1	45.80	1
1989	22.20	1	26.50	1	38.40	1	52.10	1	79.40	1
1990	17.60	1	26.80	1	33.60	1	37.20	1	37.20	1
1991	25.60	1	41.00	1	43.40	1	46.80	1	49.60	1
1992	22.00	1	32.60	1	33.40	1	33.40	1	48.40	1
1993	18.00	1	30.00	1	32.60	1	50.60	1	57.40	1
1994	22.60	1	38.40	1	46.20	1	51.60	1	51.60	1
1995	16.20	1	20.80	1	26.20	1	34.20	1	36.80	1
1996	33.20	1	55.20	1	55.40	1	55.40	1	55.40	1
Media	30.15	Numero	43.96	Numero	51.49	Numero	58.38	Numero	67.64	Numero
Scarto	13.31	59	17.97	60	22.87	58	26.65	58	32.29	58

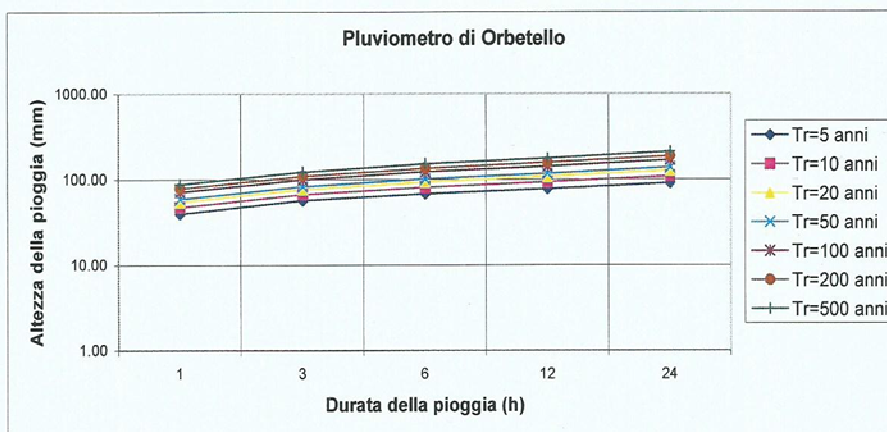
**Curve di possibilità pluviometriche (DISTRIBUZIONE DI GUMBEL)**

**Orbetello**

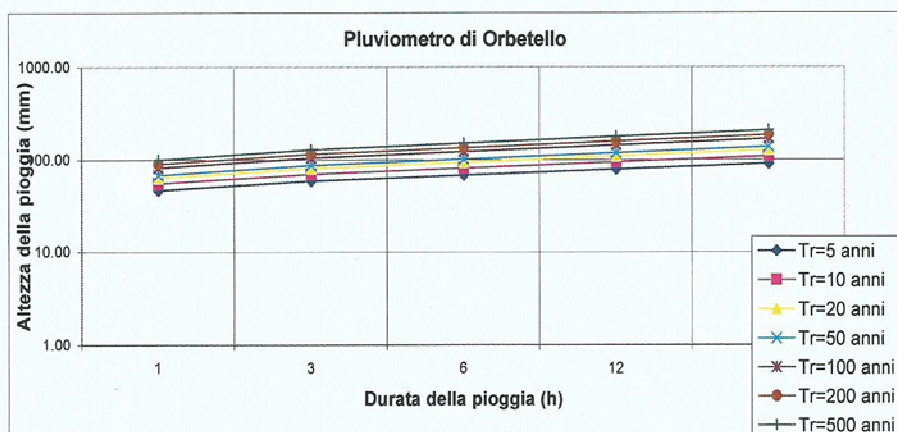
Tempo di ritorno T (anni)	Altezza h 1 ora (mm)	Altezza h 3 ore (mm)	Altezza h 6 ore (mm)	Altezza h 12 ore (mm)	Altezza h 24 ore (mm)
5	39.72	56.88	67.94	77.69	90.86
10	47.51	67.40	81.31	93.40	109.75
20	54.97	77.48	94.14	108.46	127.87
30	59.27	83.28	101.52	117.13	138.29
100	71.88	100.31	123.20	142.58	168.90
200	79.10	110.05	135.59	157.14	186.41
500	88.62	122.91	151.95	176.35	209.51

Coefficienti curva possibilità pluviometrica			
Minimi quadrati		Involuppo	
a	n	a	n
41.31	0.26	46.66	0.21
49.13	0.26	55.19	0.22
56.64	0.26	63.38	0.22
60.95	0.27	68.09	0.22
73.62	0.27	81.94	0.23
80.88	0.27	89.87	0.23
90.44	0.27	100.33	0.23

**Diagrammi delle curve di possibilità pluviometriche (senza interpolazione)**



**Diagrammi delle curve di possibilità pluviometriche (interpolate)**



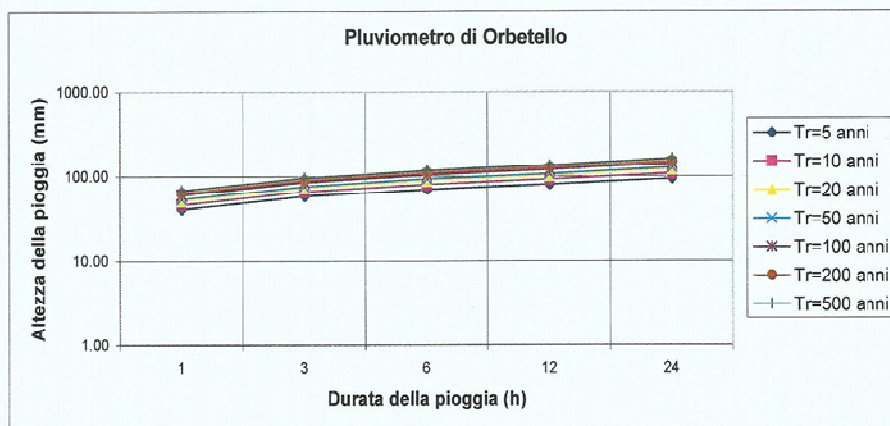
**Curve di possibilità pluviometriche (DISTRIBUZIONE NORMALE)**

**Orbetello**

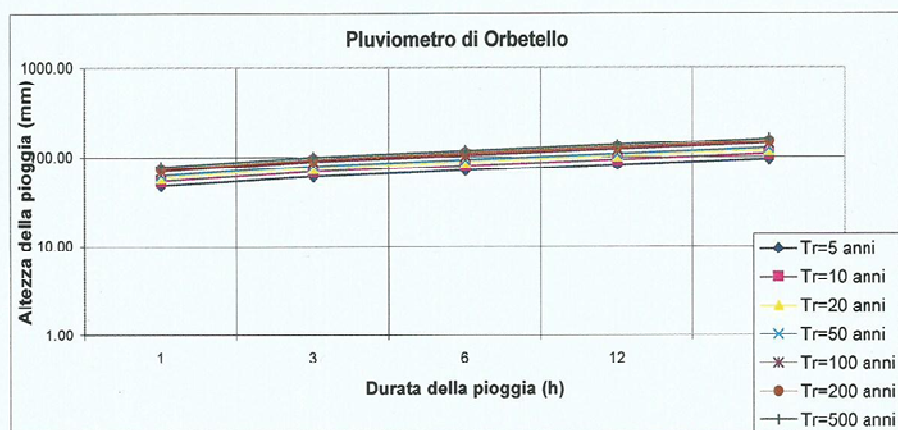
Tempo di ritorno T (anni)	Altezza h 1 ora (mm)	Altezza h 3 ore (mm)	Altezza h 6 ore (mm)	Altezza h 12 ore (mm)	Altezza h 24 ore (mm)
5	41.35	59.09	70.74	80.98	94.82
10	47.21	66.99	80.80	92.80	109.02
20	52.04	73.52	89.11	102.55	120.76
30	54.56	76.92	93.43	107.83	126.88
100	61.11	85.77	104.69	120.85	142.77
200	64.43	90.25	110.40	127.55	150.82
500	68.46	95.69	117.31	135.67	160.59

Coefficienti curva possibilità pluviometrica			
Minimi quadrati		Inviluppo	
a	n	a	n
42.95	0.26	48.44	0.21
48.83	0.26	54.86	0.22
53.89	0.26	60.16	0.22
56.22	0.26	62.92	0.22
62.80	0.27	70.11	0.22
66.14	0.27	73.76	0.23
70.18	0.27	78.18	0.23

**Diagrammi delle curve di possibilità pluviometriche (senza interpolazione)**



**Diagrammi delle curve di possibilità pluviometriche (interpolate)**





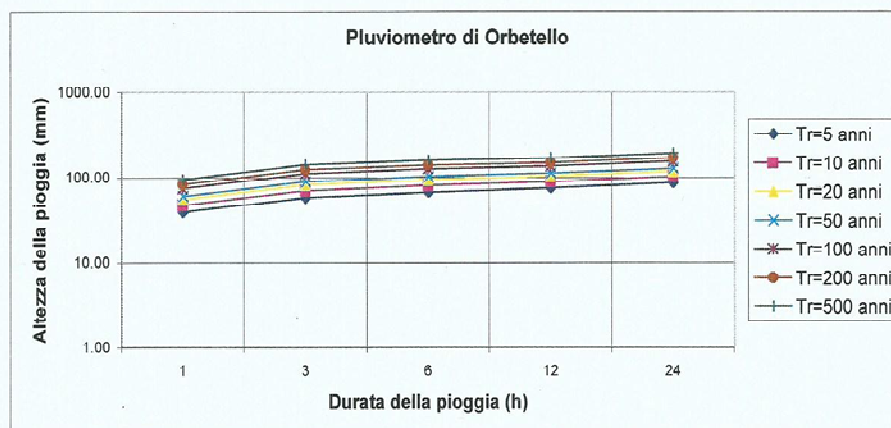
**Curve di possibilità pluviometriche (DISTRIBUZIONE LOGNORMALE)**

**Orbetello**

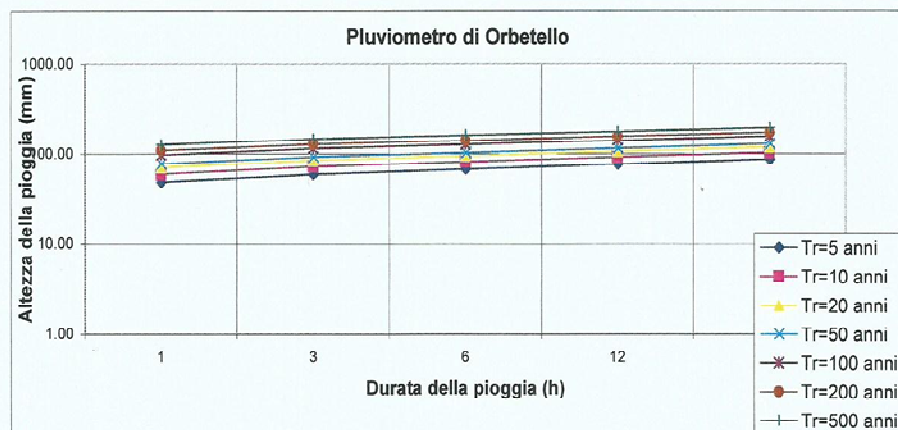
Tempo di ritorno T (anni)	Altezza h 1 ora (mm)	Altezza h 3 ore (mm)	Altezza h 6 ore (mm)	Altezza h 12 ore (mm)	Altezza h 24 ore (mm)
5	39.57	58.31	67.46	75.38	86.80
10	47.83	70.78	81.38	89.96	103.31
20	55.93	83.07	95.03	104.11	119.28
30	60.67	90.29	103.01	112.34	128.55
100	75.00	112.18	127.10	136.94	156.20
200	83.51	125.22	141.37	151.39	172.41
500	95.12	143.07	160.84	170.96	194.32

Coefficienti curva possibilità pluviometrica			
Minimi quadrati		Inviluppo	
a	n	a	n
41.97	0.24	48.70	0.18
50.97	0.23	59.79	0.17
59.84	0.23	70.84	0.16
65.05	0.23	77.38	0.16
80.86	0.22	97.37	0.15
90.28	0.22	109.39	0.14
103.18	0.21	125.96	0.14

**Diagrammi delle curve di possibilità pluviometriche (senza interpolazione)**



**Diagrammi delle curve di possibilità pluviometriche (interpolate)**



## Sezione di valle

	SUPERFICI					CURVE NUMBER			
	A	B	C	D		A	B	C	D
Cedice 1	0	0	0	0	0	52	71	78	81
Cedice 2	0	0	0	0	0	72	81	88	91
Cedice 3	0	0	0	0	0	68	79	86	89
Cedice 4	39039	0	5356	11329	55721	45	66	77	83
Cedice 5	91115	0	13296	62302	86683	25	33	70	71
Cedice 6	0	0	0	12627	12527	39	61	74	80
Cedice 7	0	0	0	0	0	49	69	79	84
Cedice 8	0	0	0	0	0	68	79	86	89
Cedice 9	0	0	0	0	0	81	88	91	93
Cedice 10	0	0	0	0	0	99	92	94	95
Cedice 11	0	0	0	0	0	77	85	90	92
Cedice 12	0	0	0	0	0	61	75	83	87
Cedice 13	0	0	0	0	0	57	72	81	85
Cedice 14	0	0	0	0	0	54	70	80	85
Cedice 15	0	0	0	0	0	51	68	79	84
Cedice 16	0	0	0	0	0	46	65	77	82
Cedice 17	0	0	0	0	0	36	58	65	68
Cedice 18	0	0	0	0	0	38	59	66	69
Cedice 19	0	0	0	0	0	76	85	89	91
Cedice 20	0	0	0	0	0	72	82	87	89

[illegible]

0	0	0
Valore definitivo del CN		

70

AMC J 51

AMC IN	70
AMC IN	85

**Table 1**

## Sezione di monte

	SUPERFICI					CURVE NUMBER			
	A	B	C	D		A	B	C	D
Code 1	0	0	0	0	0	62	71	76	81
Code 2	0	0	0	0	0	72	81	88	91
Code 3	0	0	0	0	0	68	79	86	89
Code 4	360 39	0	5356	11326	55721	45	66	77	83
Code 5	91115	0	182506	610258	853870	28	58	70	77
Code 6	0	0	0	1089	1089	30	51	74	80
Code 7	0	0	0	0	0	49	69	79	84
Code 8	0	0	0	0	0	68	79	86	89
Code 9	0	0	0	0	0	81	88	91	93
Code 10	0	0	0	0	0	89	92	94	96
Code 11	0	0	0	0	0	77	85	90	92
Code 12	0	0	0	0	0	61	73	83	87
Code 13	0	0	0	0	0	57	72	81	85
Code 14	0	0	0	0	0	54	70	80	85
Code 15	0	0	0	0	0	51	68	79	84
Code 16	0	0	0	0	0	46	65	77	82
Code 17	0	0	0	0	0	99	99	99	98
Code 18	0	0	0	0	0	98	98	98	98
Code 19	0	0	0	0	0	75	85	89	91
Code 20	0	0	0	0	0	72	82	87	89
					91089				

[illegible]

0	0	0
Valore definitivo del CN		

69

AMC I 59

AMC II	89
AMC III	84

doi:10.1017/S0022292412001619

**DETERMINAZIONE DELLE PORTATE CON I DATI IDROLOGICI  
IETOGRAMMA COSTANTE E DISTRIBUZIONE DI GUMBEL**

*Dati geometrici e di uso dei bacini alla chiusura delle varie sezioni*

Sezione	S (km <sup>2</sup> )	L (km)	H <sub>med</sub> (m)	H <sub>max</sub> (bac) (m)	H <sub>max</sub> (asta) (m)	H <sub>min</sub> (m)	Dq (m)	imed	CN
Ingresso	0.93	1.48	198	373	255	45	210.00	0.142	85

*Determinazione del tempo di corrivazione (espresso in ore)*

Sezione	Ventura	Giandotti	Kirpich	Viparelli	Pezzoli	Tourmon	Puglisi	SCELTO
Ingresso	0.33	0.62	0.21	0.27	0.22	0.12	1.13	0.62

Metodo di: Giandotti

*Idrogrammi di piena:*

Caratteristiche del bacino:

n= 3

Tp= 0.5Tc= 0.31

ore

k= Tp/(n-1)=0.5\*Tc/(n-1)= 0.15 ore

Sezione a cui si chiude il bacino:

Tempo di corrivazione:

0.62 ore

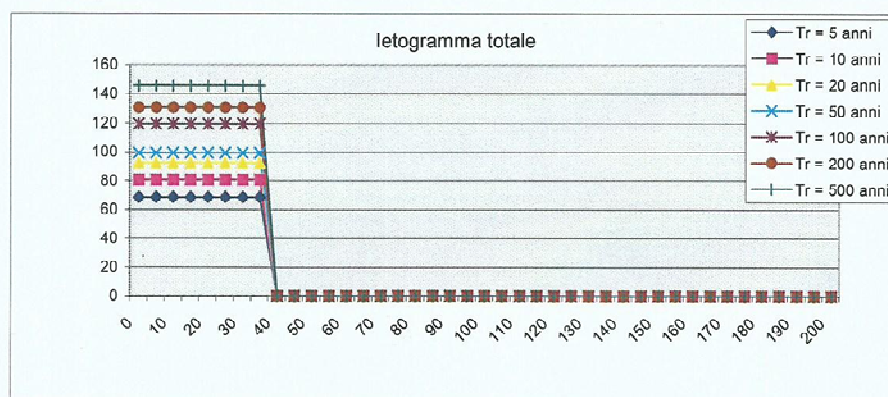
**Valutazione dei colmi di piena**

Portate per i vari tempi di ritorno								
Metodo di Giandotti (Da Deppo-Datei / Peruginelli)								
T <sub>r</sub> =	5	10	20	50	100	200	500	[anni]
Q <sub>c</sub> =	13.27	15.64	17.93	19.24	23.10	25.31	28.23	[m <sup>3</sup> /s]
Q <sub>a</sub> =	10.63	12.53	14.36	15.41	18.50	20.27	22.61	[m <sup>3</sup> /s]
Metodo di Nash								
T <sub>r</sub> =	5	10	20	50	100	200	500	[anni]
Q <sub>c</sub> =	5.78	8.00	10.28	11.66	15.88	18.40	21.82	[m <sup>3</sup> /s]

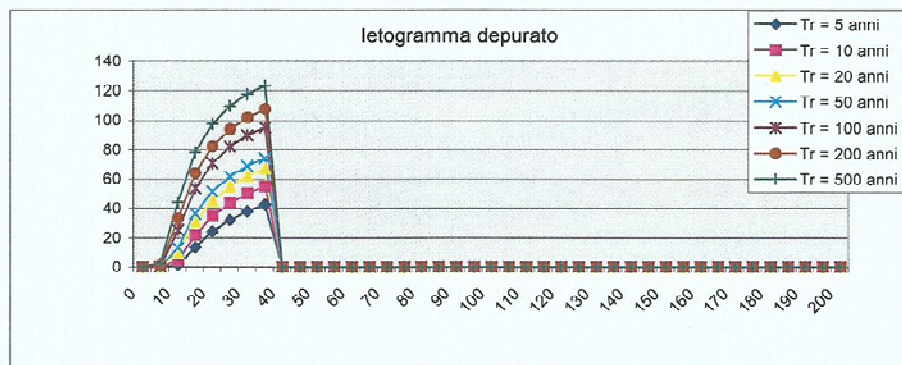
Portate senza indicazione statistica			
Metodo di Whistler-Scimemi		Metodo di Gherardelli-Marchetti	
Q <sub>c</sub> = 5.58	[m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>c</sub> = 126.36	[m <sup>3</sup> /s]
Metodo di Forti (400 mm su 24h)		Metodo di Forti (200 mm su 24h)	
Q <sub>c</sub> = 12.99	[m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>c</sub> = 9.18	[m <sup>3</sup> /s]



Pioggia oraria [i(t)] - Ietogramma costante							
Tempo (primi)	Altezza di pioggia totale per i vari tempi di ritorno (mm/h·m²)						
	5 anni	10 anni	20 anni	30	100 anni	200 anni	500 anni
0	68.46	80.72	92.49	99.27	119.20	130.60	145.66
5	68.46	80.72	92.49	99.27	119.20	130.60	145.66
10	68.46	80.72	92.49	99.27	119.20	130.60	145.66
15	68.46	80.72	92.49	99.27	119.20	130.60	145.66
20	68.46	80.72	92.49	99.27	119.20	130.60	145.66
25	68.46	80.72	92.49	99.27	119.20	130.60	145.66
30	68.46	80.72	92.49	99.27	119.20	130.60	145.66
35	68.46	80.72	92.49	99.27	119.20	130.60	145.66
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
140	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume	30.94	47.09	53.95	57.91	69.53	76.18	84.97

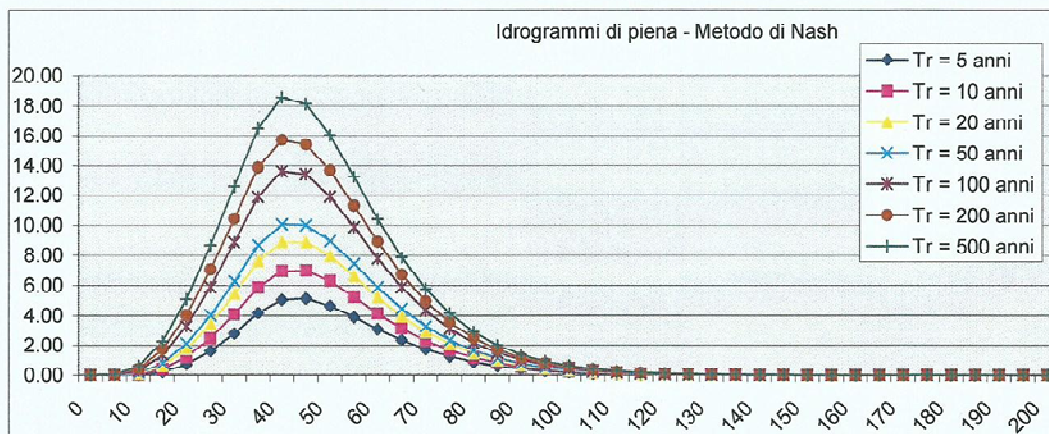


Pioggia depurata istantanea [i(t)]							
Tempo (primi)	Altezza di pioggia totale per i vari tempi di ritorno (mm/(h*m²))						
	5 anni	10 anni	20 anni	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.95	2.52
10	1.52	4.90	9.74	13.16	25.35	33.18	44.26
15	13.53	22.03	31.05	36.55	53.74	64.14	78.32
20	24.21	34.81	45.25	51.60	70.94	82.38	97.60
25	32.06	43.54	55.04	61.81	82.15	93.99	109.75
30	37.98	50.10	62.07	69.06	89.86	101.87	117.77
35	42.57	55.07	67.29	74.39	95.39	107.45	123.37
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
140	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume	12.66	17.52	22.54	25.55	34.81	40.33	47.81

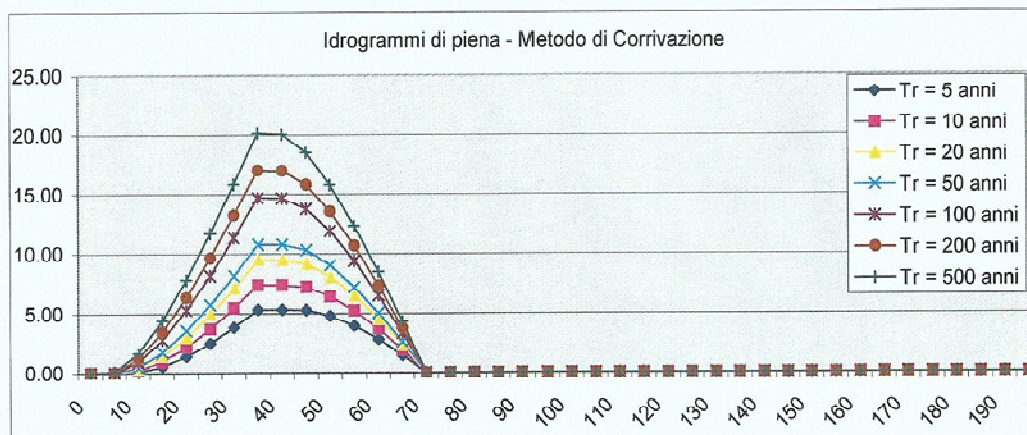




Idrogramma di piena metodo di Nash									
Tempo (primi)	S * u(t) [m³/h]	Dt [h]	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno [m³/s]						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.14383	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03
10	0.33477	0	0.02	0.06	0.12	0.16	0.31	0.42	0.60
15	0.43828	0	0.20	0.40	0.64	0.81	1.36	1.73	2.27
20	0.45337	0	0.72	1.21	1.76	2.12	3.28	4.02	5.07
25	0.41219	0	1.61	2.48	3.42	4.01	5.89	7.05	8.86
30	0.34537	0	2.80	4.08	5.44	6.27	8.87	10.44	12.59
35	0.27353	0	4.16	5.85	7.60	8.66	11.91	13.85	16.48
40	0.20788	0	5.04	6.95	8.89	10.06	13.61	15.72	18.55
45	0.15309	0	5.12	6.98	8.87	10.00	13.41	15.42	18.12
50	0.10997	0	4.64	6.29	7.95	8.94	11.93	13.68	16.04
55	0.07743	0	3.89	5.25	6.62	7.43	9.88	11.32	13.24
60	0.05362	0	3.09	4.16	5.23	5.86	7.78	8.90	10.40
65	0.03661	0	2.35	3.16	3.97	4.45	5.66	6.73	7.86
70	0.02471	0	1.74	2.33	2.92	3.27	4.35	4.94	5.77
75	0.01650	0	1.25	1.67	2.10	2.35	3.10	3.64	4.13
80	0.01093	0	0.88	1.18	1.48	1.65	2.18	2.49	2.90
85	0.00718	0	0.61	0.82	1.02	1.15	1.51	1.72	2.01
90	0.00468	0	0.42	0.56	0.70	0.78	1.03	1.18	1.37
95	0.00304	0	0.28	0.38	0.47	0.53	0.70	0.79	0.92
100	0.00196	0	0.19	0.25	0.32	0.35	0.46	0.53	0.62
105	0.00126	0	0.13	0.17	0.21	0.23	0.31	0.35	0.41
110	0.00080	0	0.08	0.11	0.14	0.15	0.20	0.23	0.27
115	0.00051	0	0.05	0.07	0.09	0.10	0.13	0.15	0.17
120	0.00032	0	0.03	0.05	0.06	0.06	0.09	0.10	0.11
125	0.00020	0	0.02	0.03	0.04	0.04	0.06	0.06	0.07
130	0.00013	0	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05
135	0.00008	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
140	0.00005	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
145	0.00003	0	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
150	0.00002	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
155	0.00001	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00001	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumi			11816.97	16358.79	21042.68	23854.46	32499.38	37654.80	44636.99
Portate di picco [m³/s]			5.12	6.98	8.89	10.06	13.61	15.72	18.55

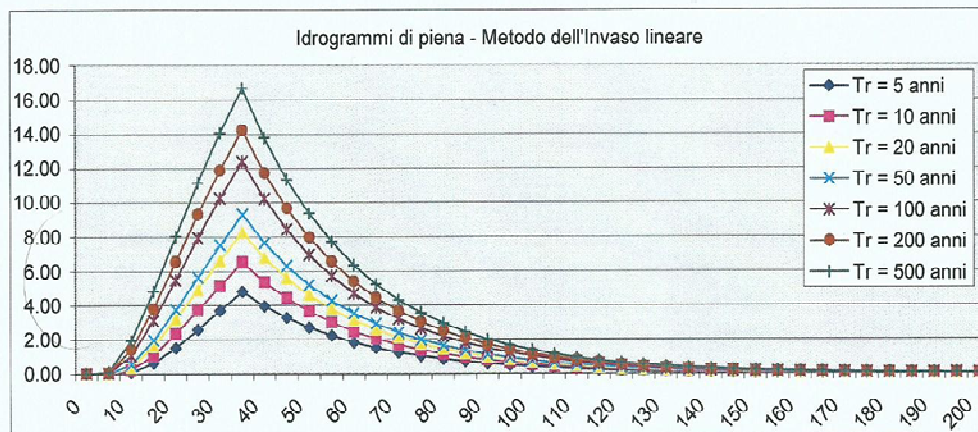


Idrogramma di piena									
Tempo (primi)	$S + u(t)$ [m <sup>3</sup> /s]	Dt (secondi)	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno [m <sup>3</sup> /s]						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.42149	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.42149	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.09
10	0.42149	0	0.05	0.17	0.34	0.46	0.90	1.20	1.64
15	0.42149	0	0.53	0.95	1.43	1.75	2.79	3.45	4.39
20	0.42149	0	1.38	2.16	3.02	3.58	5.28	6.34	7.83
25	0.42149	0	2.50	3.69	4.96	5.73	8.16	9.65	11.68
30	0.42149	0	3.84	5.45	7.14	8.16	11.32	13.22	15.82
35	0.42149	0	5.33	7.38	9.50	10.77	14.67	17.00	20.15
40	0.00000	0	5.33	7.38	9.50	10.77	14.67	16.96	20.06
45	0.00000	0	5.28	7.21	9.16	10.31	13.77	15.80	18.51
50	0.00000	0	4.81	6.44	8.07	9.02	11.88	13.55	15.76
55	0.00000	0	3.96	5.22	6.48	7.21	9.39	10.65	12.32
60	0.00000	0	2.83	3.69	4.54	5.04	6.51	7.35	8.47
65	0.00000	0	1.50	1.93	2.36	2.61	3.35	3.77	4.33
70	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
140	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumi			11202.15	15507.68	19947.07	22613.36	30808.60	35695.69	42314.62
Portate di picco [m <sup>3</sup> /s]			5.33	7.38	9.50	10.77	14.67	17.00	20.15





Idrogramma di piena									
Tempo (primi)	S + u(t) (m³/s)	Dt (secondi)	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno (m³/s)						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.00213	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.49625	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.10
10	0.40899	0	0.06	0.20	0.40	0.54	1.06	1.40	1.92
15	0.33707	0	0.61	1.08	1.62	1.96	3.09	3.81	4.82
20	0.27780	0	1.51	2.32	3.20	3.75	5.48	6.55	8.01
25	0.22895	0	2.57	3.71	4.92	5.65	7.92	9.20	11.14
30	0.18869	0	3.69	5.13	6.62	7.51	10.24	11.86	14.05
35	0.15551	0	4.80	6.51	8.24	9.27	12.98	14.22	16.60
40	0.12816	0	3.95	5.36	6.79	7.64	10.21	11.72	13.75
45	0.10563	0	3.26	4.42	5.60	6.29	8.41	9.00	11.30
50	0.08705	0	2.89	3.64	4.61	5.19	6.93	7.96	9.34
55	0.07175	0	2.21	3.00	3.60	4.27	5.71	6.56	7.70
60	0.05913	0	1.82	2.47	3.13	3.52	4.71	5.41	6.34
65	0.04873	0	1.50	2.04	2.58	2.90	3.88	4.46	5.23
70	0.04016	0	1.24	1.68	2.13	2.39	3.20	3.67	4.31
75	0.03310	0	1.02	1.38	1.75	1.97	2.64	3.03	3.56
80	0.02728	0	0.84	1.14	1.45	1.63	2.17	2.49	2.93
85	0.02248	0	0.69	0.94	1.19	1.34	1.79	2.08	2.41
90	0.01853	0	0.57	0.78	0.98	1.10	1.48	1.69	1.99
95	0.01527	0	0.47	0.64	0.81	0.91	1.22	1.40	1.64
100	0.01259	0	0.39	0.53	0.67	0.75	1.00	1.15	1.35
105	0.01037	0	0.32	0.43	0.55	0.62	0.83	0.95	1.11
110	0.00855	0	0.26	0.36	0.45	0.51	0.68	0.78	0.92
115	0.00705	0	0.22	0.29	0.37	0.42	0.56	0.64	0.76
120	0.00591	0	0.18	0.24	0.31	0.35	0.46	0.53	0.62
125	0.00479	0	0.15	0.20	0.25	0.29	0.38	0.44	0.51
130	0.00394	0	0.12	0.17	0.21	0.23	0.31	0.36	0.42
135	0.00325	0	0.10	0.14	0.17	0.19	0.26	0.30	0.35
140	0.00269	0	0.08	0.11	0.14	0.16	0.21	0.24	0.29
145	0.00221	0	0.07	0.09	0.12	0.13	0.18	0.20	0.24
150	0.00182	0	0.06	0.08	0.10	0.11	0.14	0.17	0.20
155	0.00150	0	0.05	0.06	0.08	0.09	0.12	0.14	0.16
160	0.00124	0	0.04	0.05	0.07	0.07	0.10	0.11	0.13
165	0.00102	0	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11
170	0.00084	0	0.03	0.04	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09
175	0.00069	0	0.02	0.03	0.04	0.04	0.06	0.06	0.07
180	0.00057	0	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05	0.05	0.06
185	0.00047	0	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05
190	0.00039	0	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04
195	0.00032	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
200	0.00026	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Volumi			10714.85	314.11	318.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Portate di picco [m³/s]			4.80	6.51	8.24	9.27	12.98	14.22	16.60



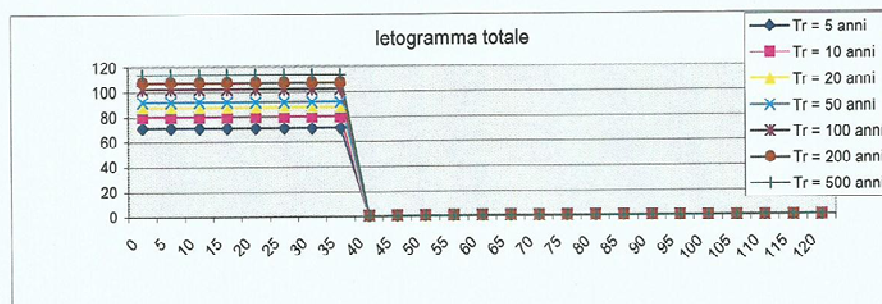
**DETERMINAZIONE DELLE PORTATE CON I DATI IDROLOGICI**  
**IETOGRAMMA COSTANTE E DISTRIBUZIONE DI NORMALE**

Valutazione dei colmi di piena

Portate per i vari tempi di ritorno								
Metodo di Giandotti (Da Deppo-Datei / Penuginelli)								
$T_r =$	5	10	20	50	100	200	500	[anni]
$Q_c =$	13.77	15.55	17.03	17.80	19.80	20.82	22.05	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_c =$	11.03	12.46	13.64	14.26	15.86	16.68	17.66	[m <sup>3</sup> /s]
Metodo di Nash								
$T_r =$	5	10	20	50	100	200	500	[anni]
$Q_c =$	6.22	7.91	9.37	10.15	12.26	13.36	14.71	[m <sup>3</sup> /s]

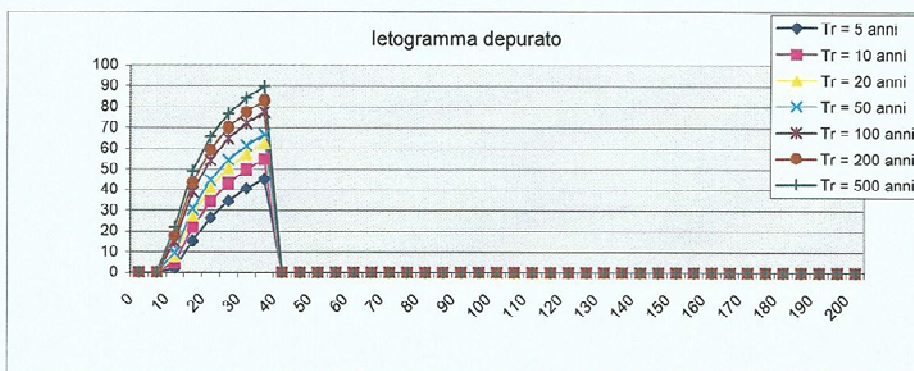
Portate senza indicazione statistica			
Metodo di Whistler-Scimemi		Metodo di Gherardelli-Marchetti	
$Q_c =$	5.56 [m <sup>3</sup> /s]	$Q_c =$	126.36 [m <sup>3</sup> /s]
Metodo di Forti (400 mm su 24h)		Metodo di Forti (200 mm su 24h)	
$Q_c =$	12.99 [m <sup>3</sup> /s]	$Q_c =$	9.18 [m <sup>3</sup> /s]

Pioggia oraria [i(t)] - Ietogramma costante							
Tempo (primi)	Altezza di pioggia totale per i vari tempi di ritorno [mm/(h·m²)]						
	5 anni	10 anni	20 anni	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
0	71.03	80.25	87.87	91.84	102.18	107.43	113.79
5	71.03	80.25	87.87	91.84	102.18	107.43	113.79
10	71.03	80.25	87.87	91.84	102.18	107.43	113.79
15	71.03	80.25	87.87	91.84	102.18	107.43	113.79
20	71.03	80.25	87.87	91.84	102.18	107.43	113.79
25	71.03	80.25	87.87	91.84	102.18	107.43	113.79
30	71.03	80.25	87.87	91.84	102.18	107.43	113.79
35	71.03	80.25	87.87	91.84	102.18	107.43	113.79
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume	41.43	46.81	51.26	53.57	59.61	62.67	66.37

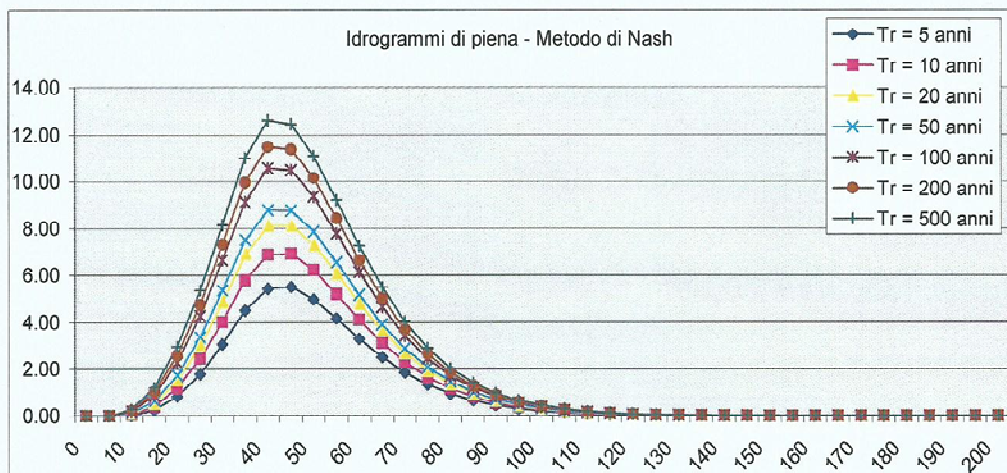




Pioggia depurata istantanea [i(t)]							
Tempo (primi)	Altezza di pioggia totale per i vari tempi di ritorno (mm/h·m³)						
	5 anni	10 anni	20 anni	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
10	2.08	4.74	7.67	9.43	14.78	17.84	21.62
15	15.22	21.89	27.42	30.53	38.97	43.42	48.94
20	26.32	34.20	41.01	44.65	54.37	59.41	65.60
25	34.41	43.08	50.48	54.39	64.75	70.07	76.68
30	40.48	49.63	57.34	61.40	72.08	77.54	84.19
35	45.16	54.58	62.47	66.61	77.45	82.97	89.68
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
140	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume	13.64	17.33	20.53	22.25	25.67	29.27	32.24



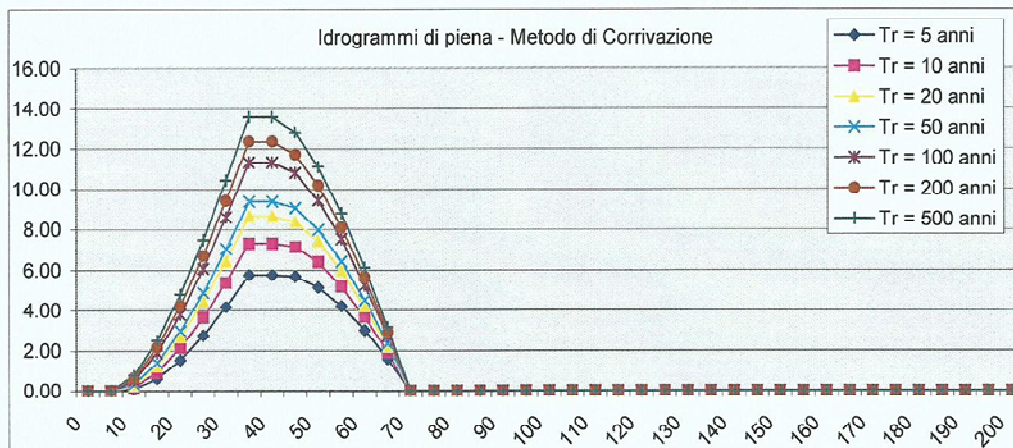
Idrogramma di piena metodo di Nash									
Tempo (primi)	$S^* u(t)$ [m³/m]	$Dt$ [h]	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno [m³/s]						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.14383	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.33477	0	0.02	0.06	0.09	0.11	0.18	0.21	0.26
15	0.43828	0	0.24	0.39	0.54	0.63	0.88	1.02	1.20
20	0.45337	0	0.82	1.19	1.54	1.73	2.28	2.57	2.95
25	0.41219	0	1.78	2.44	3.04	3.37	4.27	4.76	5.38
30	0.34537	0	3.05	4.03	4.89	5.36	6.64	7.31	8.14
35	0.27353	0	4.50	5.79	6.90	7.50	9.12	9.97	11.01
40	0.20788	0	5.43	6.87	8.12	8.78	10.57	11.49	12.63
45	0.15300	0	5.50	6.91	8.12	8.77	10.48	11.38	12.47
50	0.10997	0	4.98	6.22	7.29	7.86	9.37	10.15	11.11
55	0.07743	0	4.17	5.20	6.08	6.54	7.79	8.43	9.21
60	0.05362	0	3.31	4.11	4.80	5.17	6.14	6.64	7.25
65	0.03661	0	2.52	3.13	3.65	3.92	4.66	5.03	5.49
70	0.02471	0	1.86	2.31	2.69	2.89	3.42	3.70	4.04
75	0.01650	0	1.34	1.66	1.93	2.08	2.46	2.66	2.90
80	0.01093	0	0.94	1.17	1.36	1.46	1.73	1.87	2.04
85	0.00718	0	0.65	0.81	0.94	1.01	1.20	1.29	1.41
90	0.00468	0	0.45	0.55	0.64	0.69	0.82	0.88	0.96
95	0.00304	0	0.30	0.37	0.43	0.47	0.55	0.60	0.65
100	0.00196	0	0.20	0.25	0.29	0.31	0.37	0.40	0.43
105	0.00128	0	0.13	0.17	0.19	0.21	0.24	0.26	0.29
110	0.00080	0	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19
115	0.00051	0	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12
120	0.00032	0	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08
125	0.00020	0	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
130	0.00013	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
135	0.00008	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
140	0.00005	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
145	0.00003	0	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
150	0.00002	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
155	0.00001	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00001	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumi			12734.92	16177.59	19171.26	20775.72	25084.27	27330.27	30101.87
Portate di picco [m³/s]			5.50	6.91	8.12	8.78	10.57	11.49	12.63



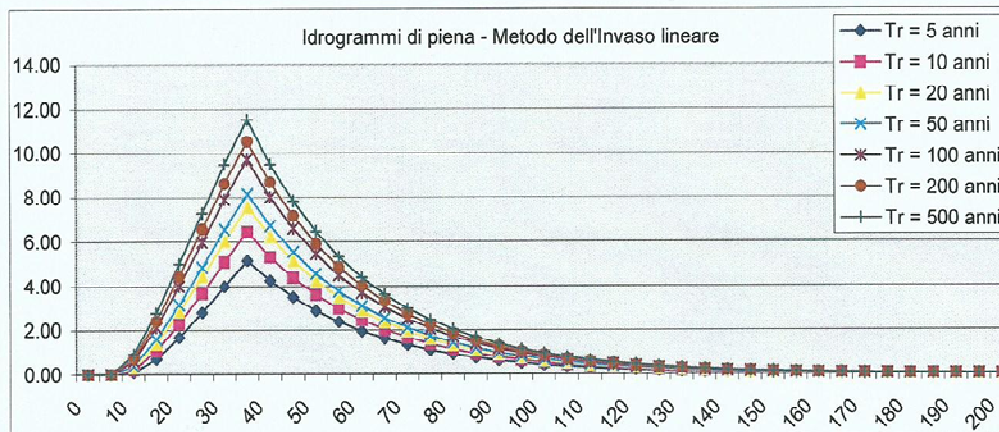


## Idrogramma di piena

Tempo (p.nm)	S * u(t) (m <sup>3</sup> /s)	Dt (secondi)	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno (m <sup>3</sup> /s)						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.42149	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.42149	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.42149	0	0.07	0.17	0.27	0.33	0.52	0.63	0.77
15	0.42149	0	0.61	0.93	1.23	1.40	1.89	2.15	2.49
20	0.42149	0	1.53	2.13	2.67	2.97	3.80	4.24	4.79
25	0.42149	0	2.74	3.64	4.45	4.88	6.07	6.70	7.48
30	0.42149	0	4.16	5.39	6.46	7.04	8.60	9.42	10.44
35	0.42149	0	5.75	7.30	8.65	9.38	11.32	12.34	13.59
40	0.00000	0	5.75	7.30	8.65	9.38	11.32	12.34	13.59
45	0.00000	0	5.68	7.14	8.38	9.05	10.80	11.71	12.82
50	0.00000	0	5.14	6.37	7.42	7.97	9.44	10.19	11.10
55	0.00000	0	4.22	5.17	5.98	6.41	7.53	8.10	8.80
60	0.00000	0	3.01	3.66	4.21	4.50	5.25	5.64	6.11
65	0.00000	0	1.59	1.92	2.19	2.34	2.72	2.91	3.15
70	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
140	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumi			12072.35	15335.90	18173.82	19694.80	23779.19	25908.33	28535.73
Portate di picco [m <sup>3</sup> /s]			5.75	7.30	8.65	9.38	11.32	12.34	13.59



Idrogramma di piena metodo dell'Invaso lineare			Caratteristiche del bacino						k= 0.71Tc	
Idrogramma di piena										
Tempo (primi)	S * u(t) (m³/s)	Dt (secondi)	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno [m³/s]							
			2	10	20	30	100	200	500	
0	0.60213	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5	0.49625	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10	0.40899	0	0.09	0.20	0.32	0.39	0.61	0.74	0.90	
15	0.33707	0	0.70	1.06	1.40	1.58	2.11	2.40	2.77	
20	0.27780	0	1.67	2.29	2.85	3.15	3.99	4.44	5.00	
25	0.22895	0	2.80	3.67	4.43	4.85	5.97	6.56	7.28	
30	0.18889	0	3.98	5.07	6.02	6.53	7.90	8.61	9.48	
35	0.15551	0	5.15	6.44	7.55	8.14	9.71	10.53	11.53	
40	0.12816	0	4.24	5.31	6.22	6.71	8.00	8.68	9.50	
45	0.10563	0	3.50	4.37	5.13	5.53	6.60	7.15	7.83	
50	0.08705	0	2.88	3.60	4.23	4.56	5.44	5.89	6.45	
55	0.07175	0	2.37	2.97	3.48	3.76	4.48	4.86	5.32	
60	0.05913	0	1.96	2.45	2.87	3.09	3.69	4.00	4.38	
65	0.04873	0	1.61	2.02	2.37	2.55	3.04	3.30	3.61	
70	0.04016	0	1.33	1.66	1.95	2.10	2.51	2.72	2.96	
75	0.03310	0	1.10	1.37	1.61	1.73	2.07	2.24	2.45	
80	0.02728	0	0.90	1.13	1.32	1.43	1.70	1.85	2.02	
85	0.02248	0	0.74	0.93	1.09	1.18	1.40	1.52	1.67	
90	0.01853	0	0.61	0.77	0.90	0.97	1.16	1.25	1.37	
95	0.01527	0	0.51	0.63	0.74	0.80	0.95	1.03	1.13	
100	0.01259	0	0.42	0.52	0.61	0.68	0.79	0.85	0.93	
105	0.01037	0	0.34	0.43	0.50	0.54	0.65	0.70	0.77	
110	0.00855	0	0.28	0.35	0.41	0.45	0.53	0.58	0.63	
115	0.00705	0	0.23	0.29	0.34	0.37	0.44	0.48	0.52	
120	0.00581	0	0.19	0.24	0.28	0.30	0.36	0.39	0.43	
125	0.00479	0	0.16	0.20	0.23	0.25	0.30	0.32	0.35	
130	0.00394	0	0.13	0.16	0.19	0.21	0.25	0.27	0.29	
135	0.00325	0	0.11	0.13	0.16	0.17	0.20	0.22	0.24	
140	0.00268	0	0.09	0.11	0.13	0.14	0.17	0.18	0.20	
145	0.00221	0	0.07	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15	0.16	
150	0.00182	0	0.06	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	
155	0.00150	0	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	
160	0.00124	0	0.04	0.05	0.06	0.06	0.08	0.08	0.09	
165	0.00102	0	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	
170	0.00084	0	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	
175	0.00069	0	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	
180	0.00057	0	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	
185	0.00047	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	
190	0.00039	0	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	
195	0.00032	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
200	0.00026	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	
Volumi			11547.19	14668.78	17383.24	18838.06	22744.77	24781.30	27294.40	
Portate di picco [m³/s]			5.15	6.44	7.55	8.14	9.71	10.53	11.53	





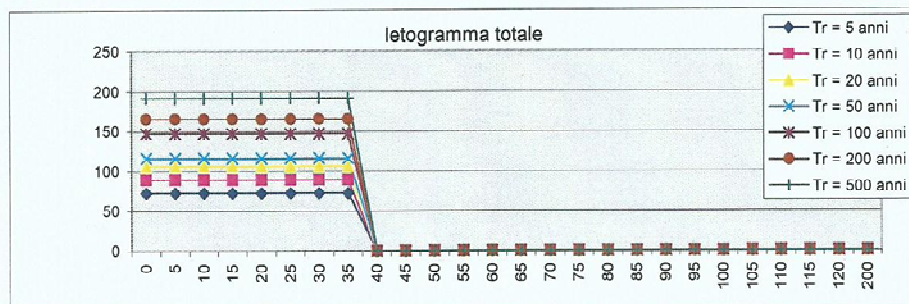
**DETERMINAZIONE DELLE PORTATE CON I DATI IDROLOGICI**  
**IETOGRAMMA COSTANTE E DISTRIBUZIONE DI LOGNORMALE**

Valutazione dei colmi di piena

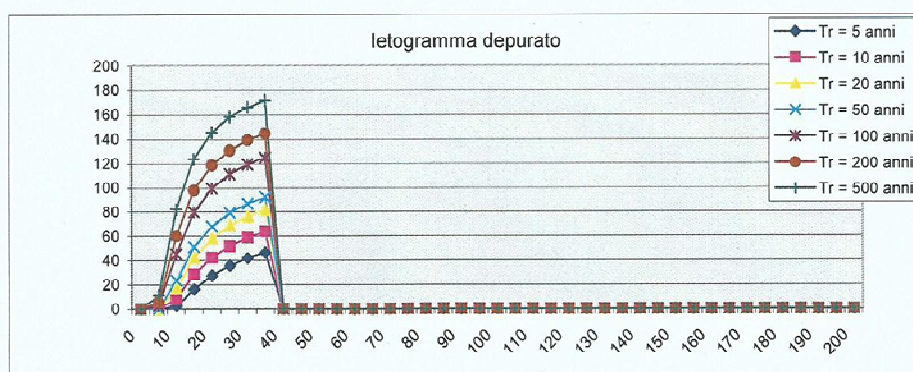
Portate per i vari tempi di ritorno							
Metodo di Giandotti (Da Deppo-Datei / Peruginelli)							
$T_r =$	5	10	20	50	100	200	500 [anni]
$Q_c =$	14.04	17.32	20.60	22.55	28.52	32.13	37.12 [ $m^3/s$ ]
$Q_c =$	11.24	13.87	16.50	18.06	22.84	25.73	29.73 [ $m^3/s$ ]
Metodo di Nash							
$T_r =$	5	10	20	50	100	200	500 [anni]
$Q_c =$	6.47	9.66	13.12	15.26	22.16	26.50	32.65 [ $m^3/s$ ]

Portate senza indicazione statistica	
Metodo di Whistler-Scimemi	Metodo di Gherardelli-Marchetti
$Q_c = 5.58$ [ $m^3/s$ ]	$Q_c = 126.36$ [ $m^3/s$ ]
Metodo di Forti (400 mm su 24h)	Metodo di Forti (200 mm su 24h)
$Q_c = 12.99$ [ $m^3/s$ ]	$Q_c = 9.18$ [ $m^3/s$ ]

Pioggia oraria [l/t] - Ietogramma costante							
Altezza di pioggia totale per i vari tempi di ritorno (mm/(h·m²))							
Tempo (primi)	5 anni	10 anni	20 anni	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
0	72.42	89.36	106.28	116.32	147.16	165.78	191.52
5	72.42	89.36	106.28	116.32	147.16	165.78	191.52
10	72.42	89.36	106.28	116.32	147.16	165.78	191.52
15	72.42	89.36	106.28	116.32	147.16	165.78	191.52
20	72.42	89.36	106.28	116.32	147.16	165.78	191.52
25	72.42	89.36	106.28	116.32	147.16	165.78	191.52
30	72.42	89.36	106.28	116.32	147.16	165.78	191.52
35	72.42	89.36	106.28	116.32	147.16	165.78	191.52
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume	42.25	52.12	62.00	67.66	85.84	96.70	111.72

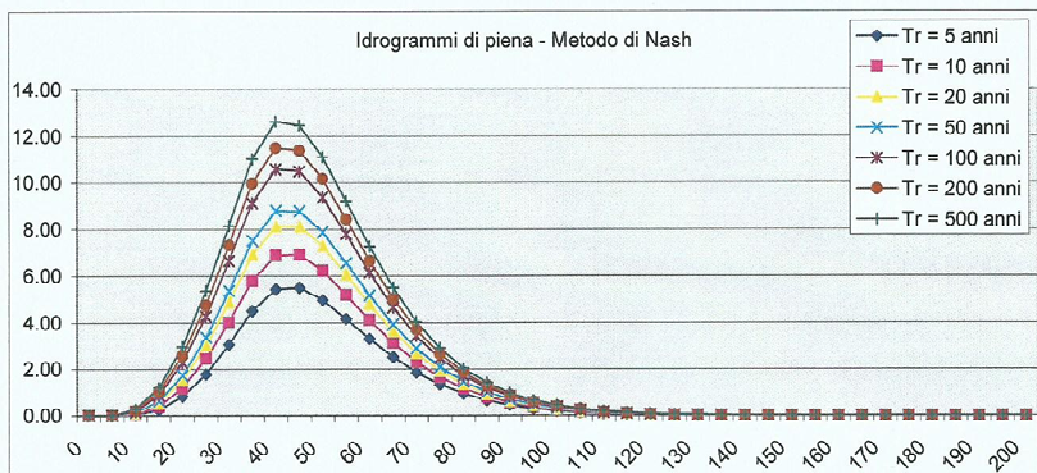


Pioggia depurata istantanea [i(t)]							
Tempo (primi)	Altezza di pioggia totale per i vari tempi di ritorno (mm/(h*m <sup>2</sup> ))						
	5 anni	10 anni	20 anni	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.14	2.71	5.68	11.33
10	2.42	8.31	17.15	23.46	45.41	60.16	81.97
15	16.17	28.57	42.44	51.18	79.78	97.91	123.73
20	27.48	42.36	58.30	69.10	99.23	118.49	145.43
25	35.70	51.94	68.91	79.19	111.33	130.94	158.16
30	41.85	58.86	76.34	86.85	119.36	139.05	166.25
35	46.58	64.02	81.76	92.36	124.96	144.62	171.72
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
140	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume	14.18	21.17	28.74	33.44	48.56	58.07	71.55

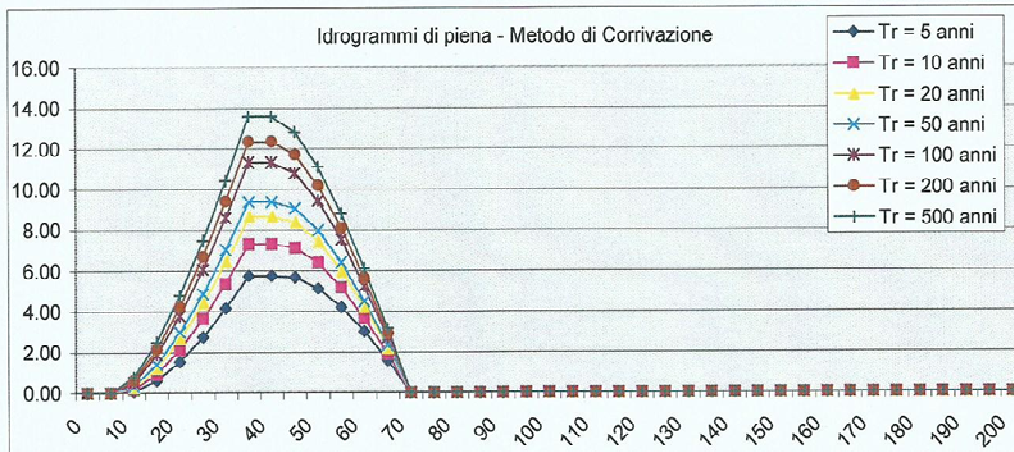




Idrogramma di piena metodo di Nash									
Tempo (primi)	S = u(t) (m <sup>3</sup> /h)	D1 (h)	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno (m <sup>3</sup> /s)						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.14383	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.33477	0	0.02	0.06	0.09	0.11	0.18	0.21	0.26
15	0.43626	0	0.24	0.39	0.54	0.63	0.86	1.02	1.20
20	0.45337	0	0.82	1.19	1.54	1.73	2.28	2.57	2.95
25	0.41219	0	1.78	2.44	3.04	3.37	4.27	4.78	5.36
30	0.34537	0	3.05	4.03	4.89	5.36	6.64	7.31	8.14
35	0.27353	0	4.50	5.79	6.90	7.50	9.12	9.97	11.01
40	0.20788	0	5.43	6.87	8.12	8.78	10.57	11.49	12.83
45	0.15309	0	5.50	6.91	8.12	8.77	10.48	11.38	12.47
50	0.10997	0	4.96	6.22	7.29	7.86	9.37	10.15	11.11
55	0.07743	0	4.17	5.20	6.08	6.54	7.79	8.43	9.21
60	0.05362	0	3.31	4.11	4.80	5.17	6.14	6.64	7.25
65	0.03661	0	2.52	3.13	3.65	3.92	4.66	5.03	5.49
70	0.02471	0	1.86	2.31	2.69	2.89	3.42	3.70	4.04
75	0.01650	0	1.34	1.66	1.93	2.08	2.46	2.66	2.90
80	0.01093	0	0.94	1.17	1.36	1.46	1.73	1.87	2.04
85	0.00718	0	0.65	0.81	0.94	1.01	1.20	1.29	1.41
90	0.00468	0	0.45	0.55	0.64	0.69	0.82	0.88	0.96
95	0.00304	0	0.30	0.37	0.43	0.47	0.55	0.60	0.65
100	0.00196	0	0.20	0.25	0.29	0.31	0.37	0.40	0.43
105	0.00126	0	0.13	0.17	0.19	0.21	0.24	0.26	0.29
110	0.00080	0	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19
115	0.00051	0	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12
120	0.00032	0	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08
125	0.00020	0	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
130	0.00013	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
135	0.00008	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
140	0.00005	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
145	0.00003	0	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
150	0.00002	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
155	0.00001	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00001	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumi			12734.92	16177.59	19171.26	20775.72	25064.27	27330.27	30101.67
Portate di picco [m <sup>3</sup> /s]			5.50	6.91	8.12	8.78	10.57	11.49	12.83

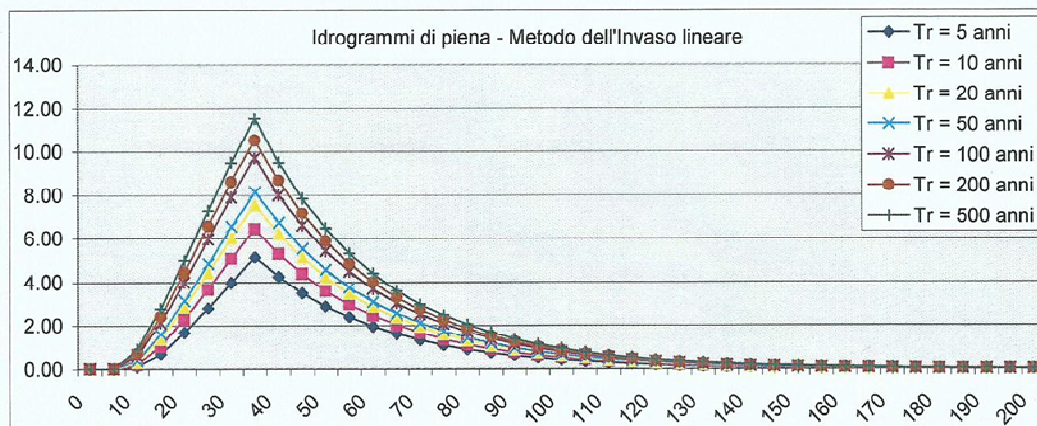


Idrogramma di piena									
Tempo (primi)	$S \cdot u(t)$ (m <sup>3</sup> /s)	Dt (secondi)	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno (m <sup>3</sup> /s)						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.42149	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.42149	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.42149	0	0.07	0.17	0.27	0.33	0.52	0.63	0.77
15	0.42149	0	0.61	0.93	1.23	1.40	1.89	2.15	2.49
20	0.42149	0	1.53	2.13	2.67	2.97	3.80	4.24	4.79
25	0.42149	0	2.74	3.64	4.45	4.86	6.07	6.70	7.49
30	0.42149	0	4.16	5.39	6.46	7.04	8.60	9.42	10.44
35	0.42149	0	5.75	7.30	8.65	9.38	11.32	12.34	13.59
40	0.00000	0	5.75	7.30	8.65	9.38	11.32	12.34	13.59
45	0.00000	0	5.68	7.14	8.38	9.05	10.80	11.71	12.82
50	0.00000	0	5.14	6.37	7.42	7.97	9.44	10.19	11.10
55	0.00000	0	4.22	5.17	5.98	6.41	7.53	8.10	8.80
60	0.00000	0	3.01	3.66	4.21	4.50	5.25	5.64	6.11
65	0.00000	0	1.59	1.92	2.19	2.34	2.72	2.91	3.15
70	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
140	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumi			12072.35	15335.90	18173.82	19694.80	23779.19	25908.33	28535.73
Portate di picco [m <sup>3</sup> /s]			5.75	7.30	8.65	9.38	11.32	12.34	13.59





Idrogramma di piena									
Tempo (primi)	$S \cdot u(t)$ [m <sup>3</sup> /s]	Dt (secondi)	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno [m <sup>3</sup> /s]						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.60213	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.49525	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.40899	0	0.00	0.20	0.32	0.39	0.61	0.74	0.90
15	0.33707	0	0.70	1.06	1.40	1.58	2.11	2.40	2.77
20	0.27780	0	1.67	2.29	2.85	3.15	3.99	4.44	5.00
25	0.22895	0	2.90	3.67	4.43	4.85	5.97	6.58	7.28
30	0.18869	0	3.98	5.07	6.02	6.53	7.90	8.61	9.48
35	0.15551	0	5.15	6.44	7.55	8.14	9.71	10.53	11.53
40	0.12816	0	4.24	5.31	6.22	6.71	8.00	8.68	9.50
45	0.10563	0	3.50	4.37	5.13	5.53	6.80	7.15	7.83
50	0.08705	0	2.98	3.60	4.23	4.56	5.44	5.89	6.45
55	0.07175	0	2.37	2.97	3.48	3.76	4.48	4.86	5.32
60	0.05913	0	1.96	2.45	2.87	3.09	3.69	4.00	4.38
65	0.04873	0	1.61	2.02	2.37	2.55	3.04	3.30	3.61
70	0.04016	0	1.33	1.66	1.95	2.10	2.51	2.72	2.98
75	0.03310	0	1.10	1.37	1.61	1.73	2.07	2.24	2.45
80	0.02728	0	0.90	1.13	1.32	1.43	1.70	1.85	2.02
85	0.02248	0	0.74	0.93	1.09	1.18	1.40	1.52	1.67
90	0.01853	0	0.61	0.77	0.90	0.97	1.16	1.25	1.37
95	0.01527	0	0.51	0.63	0.74	0.80	0.95	1.03	1.13
100	0.01259	0	0.42	0.52	0.61	0.66	0.79	0.85	0.93
105	0.01037	0	0.34	0.43	0.50	0.54	0.65	0.70	0.77
110	0.00855	0	0.28	0.35	0.41	0.45	0.53	0.58	0.63
115	0.00705	0	0.23	0.29	0.34	0.37	0.44	0.48	0.52
120	0.00581	0	0.19	0.24	0.28	0.30	0.36	0.39	0.43
125	0.00479	0	0.16	0.20	0.23	0.25	0.30	0.32	0.35
130	0.00394	0	0.13	0.16	0.19	0.21	0.25	0.27	0.29
135	0.00325	0	0.11	0.13	0.16	0.17	0.20	0.22	0.24
140	0.00268	0	0.09	0.11	0.13	0.14	0.17	0.18	0.20
145	0.00221	0	0.07	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15	0.16
150	0.00182	0	0.06	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13
155	0.00150	0	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11
160	0.00124	0	0.04	0.05	0.06	0.06	0.08	0.08	0.09
165	0.00102	0	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08
170	0.00084	0	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06
175	0.00069	0	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
180	0.00057	0	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
185	0.00047	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
190	0.00039	0	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
195	0.00032	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
200	0.00026	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Volumi			11547.19	14668.78	17383.24	18838.06	22744.77	24781.30	27294.40
Portate di picco [m <sup>3</sup> /s]			5.15	6.44	7.55	8.14	9.71	10.53	11.53



**DETERMINAZIONE DELLE PORTATE CON I DATI IDROLOGICI**  
**IETOGRAMMA COSTANTE E DISTRIBUZIONE DI GUMBEL**

*Dati geometrici e di uso dei bacini alla chiusura delle varie sezioni*

Sezione	S (km <sup>2</sup> )	L (km)	H <sub>med</sub> (m)	H <sub>max</sub> (bac) (m)	H <sub>max</sub> (asta) (m)	H <sub>min</sub> (m)	Dq (m)	imed	CN
Ingresso	0.91	1.36	201	373	255	52	203.00	84.000	79

*Determinazione del tempo di corrivazione (espresso in ore)*

Sezione	Ventura	Giandotti	Kirpich	Viparelli	Pezzoli	Tourmon	Puglisi	SCELTO
Ingresso	0.01	0.60	0.20	0.25	0.01	0.00	1.08	0.60

Metodo di: Giandotti

**Idrogrammi di piena:**

Caratteristiche del bacino:

$n = 3$

$T_p = 0.5 T_c = 0.30$  ore  
 $k = T_p / (n-1) = 0.5 T_c / (n-1) = 0.15$  ore

Sezione a cui si chiude il bacino:

Tempo di corrivazione:

0.60 ore

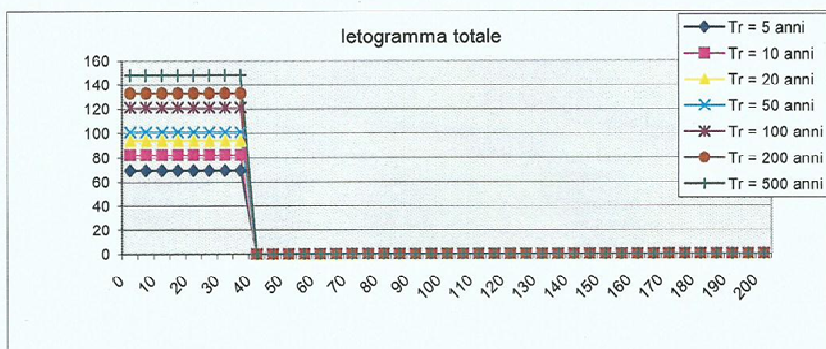
**Valutazione dei colmi di piena**

Portate per i vari tempi di ritorno								
Metodo di Giandotti (Da Deppo-Datei / Peruginelli)								
T <sub>r</sub> =	5	10	20	50	100	200	500	[anni]
Q <sub>c</sub> =	13.20	15.56	17.83	19.13	22.97	25.17	28.07	[m <sup>3</sup> /s]
Q <sub>g</sub> =	10.57	12.48	14.28	15.32	18.40	20.16	22.48	[m <sup>3</sup> /s]
Metodo di Nash								
T <sub>r</sub> =	5	10	20	50	100	200	500	[anni]
Q <sub>c</sub> =	3.57	5.33	7.22	8.38	12.04	14.27	17.35	[m <sup>3</sup> /s]

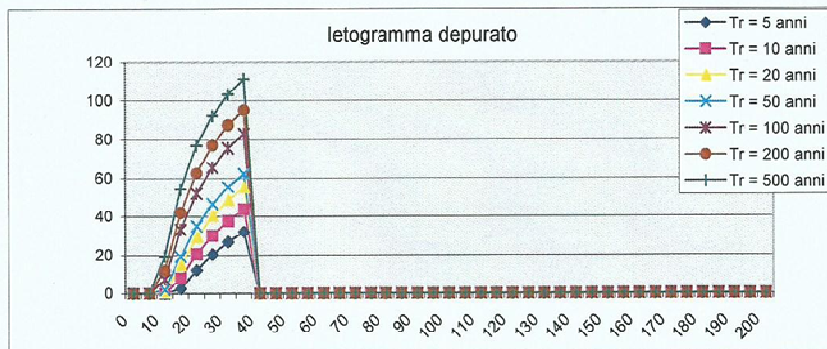
Portate senza indicazione statistica			
Metodo di Whistler-Scimeni		Metodo di Gherardelli-Marchetti	
Q <sub>c</sub> =	5.44 [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>c</sub> =	125.30 [m <sup>3</sup> /s]
Metodo di Forti (400 mm su 24h)		Metodo di Forti (200 mm su 24h)	
Q <sub>c</sub> =	12.66 [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>c</sub> =	8.95 [m <sup>3</sup> /s]



Pioggia oraria [i(t)] - Ietogramma costante							
Tempo (primi)	Altezza di pioggia totale per i vari tempi di ritorno [mm/(h·m²)]						
	5 anni	10 anni	20 anni	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
0	69.85	82.34	94.34	101.25	121.55	133.18	148.52
5	69.85	82.34	94.34	101.25	121.55	133.18	148.52
10	69.85	82.34	94.34	101.25	121.55	133.18	148.52
15	69.85	82.34	94.34	101.25	121.55	133.18	148.52
20	69.85	82.34	94.34	101.25	121.55	133.18	148.52
25	69.85	82.34	94.34	101.25	121.55	133.18	148.52
30	69.85	82.34	94.34	101.25	121.55	133.18	148.52
35	69.85	82.34	94.34	101.25	121.55	133.18	148.52
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
140	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume	40.74	48.03	55.03	59.06	70.91	77.69	86.64

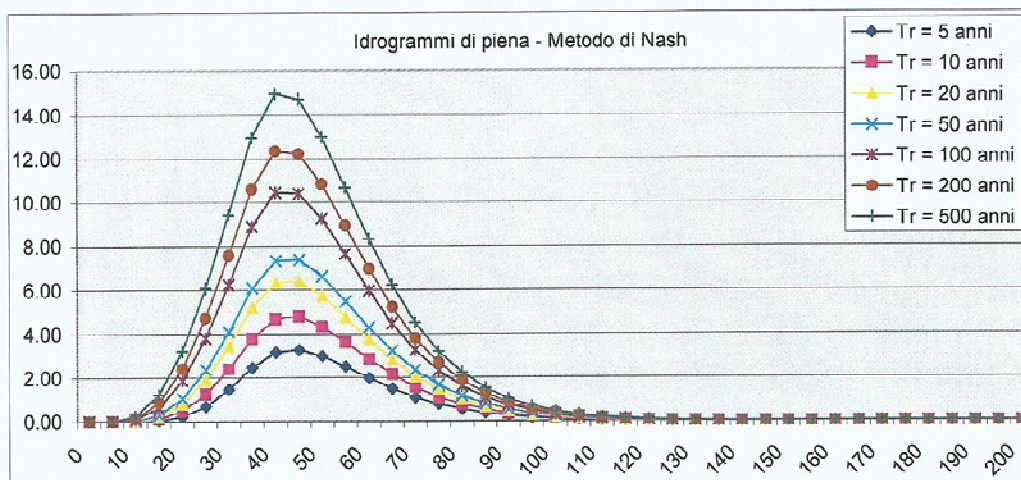


Pioggia depurata istantanea [i(t)]							
Tempo (primi)	Altezza di pioggia totale per i vari tempi di ritorno (mm/(h*m²))						
	5 anni	10 anni	20 anni	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.01	0.85	1.92	7.37	11.90	19.28
15	2.63	8.06	14.87	19.17	33.16	41.93	54.21
20	12.22	20.57	29.49	34.95	52.10	62.51	76.76
25	20.29	30.17	40.41	46.58	65.55	76.84	92.09
30	26.77	37.69	48.79	55.40	75.43	87.21	102.98
35	32.07	43.69	55.36	62.24	82.91	94.95	110.99
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
140	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume	7.83	11.68	15.81	18.35	26.38	31.28	38.03

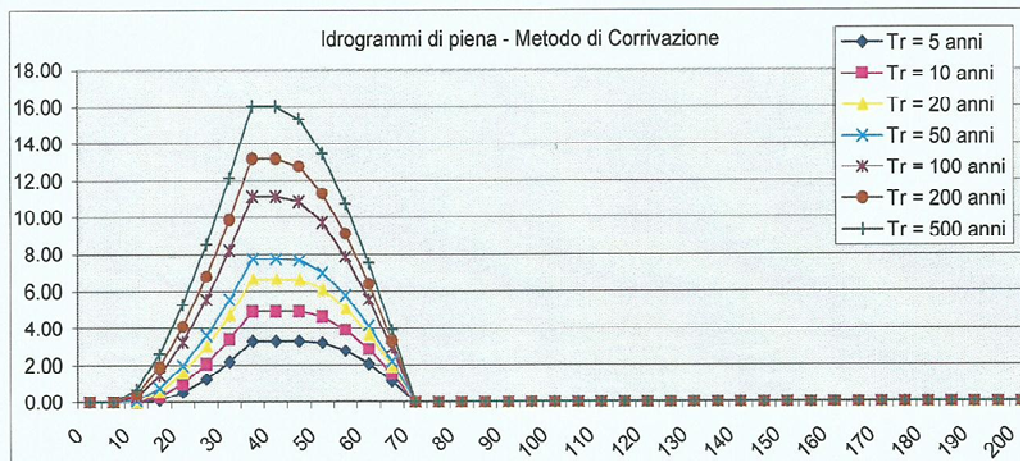




Idrogramma di piena metodo di Nash									
Tempo (primi)	S * u(t) [m <sup>3</sup> /h]	Dt [h]	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno [m <sup>3</sup> /s]						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.14923	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.34253	0	0.00	0.00	0.01	0.02	0.09	0.15	0.24
15	0.44225	0	0.03	0.10	0.21	0.29	0.82	0.88	1.22
20	0.45116	0	0.23	0.49	0.82	1.05	1.87	2.41	3.21
25	0.40452	0	0.70	1.26	1.92	2.36	3.80	4.73	6.06
30	0.33427	0	1.46	2.39	3.43	4.09	6.22	7.56	9.43
35	0.26108	0	2.46	3.78	5.20	6.09	8.88	10.60	12.96
40	0.19568	0	3.15	4.69	6.32	7.32	10.45	12.35	14.94
45	0.14211	0	3.27	4.79	6.40	7.37	10.39	12.22	14.70
50	0.10068	0	2.98	4.33	5.75	6.60	9.25	10.63	12.99
55	0.06991	0	2.50	3.61	4.77	5.47	7.63	8.92	10.67
60	0.04774	0	1.97	2.84	3.74	4.28	5.96	6.96	8.31
65	0.03215	0	1.49	2.14	2.82	3.22	4.47	5.21	6.22
70	0.02140	0	1.09	1.56	2.05	2.35	3.25	3.79	4.52
75	0.01409	0	0.78	1.11	1.46	1.67	2.31	2.69	3.20
80	0.00920	0	0.54	0.78	1.02	1.16	1.60	1.87	2.22
85	0.00596	0	0.37	0.53	0.70	0.79	1.10	1.28	1.52
90	0.00384	0	0.25	0.36	0.47	0.54	0.74	0.86	1.02
95	0.00245	0	0.17	0.24	0.31	0.36	0.49	0.57	0.68
100	0.00156	0	0.11	0.16	0.21	0.24	0.32	0.38	0.45
105	0.00099	0	0.07	0.10	0.14	0.15	0.21	0.25	0.29
110	0.00062	0	0.05	0.07	0.09	0.10	0.14	0.16	0.19
115	0.00039	0	0.03	0.04	0.06	0.06	0.09	0.10	0.12
120	0.00024	0	0.02	0.03	0.04	0.04	0.06	0.07	0.08
125	0.00015	0	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05
130	0.00009	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
135	0.00006	0	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
140	0.00004	0	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
145	0.00002	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
150	0.00001	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00001	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00001	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumi			7128.90	10634.43	14396.40	16709.09	24011.54	28474.16	34616.33
Portate di picco [m <sup>3</sup> /s]			3.27	4.79	6.40	7.37	10.45	12.35	14.94

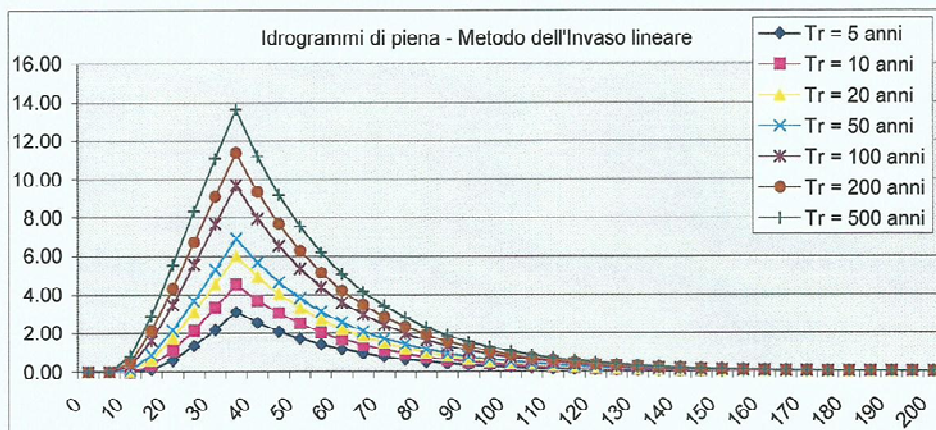


Idrogramma di piena									
Tempo (primi)	$S \cdot u(t)$ [m <sup>3</sup> /s]	Dt (secondi)	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno [m <sup>3</sup> /s]						
			7	10	20	30	100	200	500
0	0.42151	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.42151	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.42151	0	0.00	0.00	0.03	0.07	0.28	0.42	0.68
15	0.42151	0	0.09	0.28	0.55	0.74	1.42	1.99	2.59
20	0.42151	0	0.52	1.01	1.59	1.97	3.25	4.09	5.28
25	0.42151	0	1.23	2.07	3.01	3.60	5.56	6.79	8.51
30	0.42151	0	2.17	3.39	4.72	5.55	8.21	9.85	12.13
35	0.42151	0	3.30	4.92	6.67	7.74	11.12	13.18	16.03
40	0.00000	0	3.30	4.92	6.67	7.74	11.12	13.18	16.03
45	0.00000	0	3.30	4.92	6.64	7.67	10.86	12.77	15.35
50	0.00000	0	3.21	4.64	6.11	7.00	9.69	11.29	13.45
55	0.00000	0	2.78	3.92	5.08	5.77	7.86	9.10	10.75
60	0.00000	0	2.07	2.86	3.66	4.13	5.56	6.40	7.52
65	0.00000	0	1.13	1.53	1.94	2.19	2.91	3.34	3.90
70	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
140	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumi			6931.77	10340.35	13998.29	16247.03	23347.55	27888.76	33659.07
Portate di picco [m <sup>3</sup> /s]			3.30	4.92	6.67	7.74	11.12	13.18	16.03





Idrogramma di piena									
Tempo (min)	$S \cdot u(t)$ (m/s)	$Dt$ (secondi)	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno (m³/s)						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.60215	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.49381	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.40486	0	0.00	0.00	0.03	0.08	0.30	0.49	0.79
15	0.33210	0	0.11	0.33	0.64	0.85	1.61	2.13	2.88
20	0.27234	0	0.59	1.12	1.74	2.14	3.47	4.32	5.52
25	0.22334	0	1.32	2.16	3.09	3.67	5.54	6.70	8.32
30	0.18310	0	2.18	3.32	4.54	5.29	7.65	9.08	11.06
35	0.15020	0	3.11	4.52	6.00	6.90	9.68	11.36	13.64
40	0.12318	0	2.55	3.71	4.92	5.66	7.94	9.31	11.18
45	0.10101	0	2.09	3.04	4.04	4.64	6.51	7.64	9.17
50	0.08284	0	1.72	2.49	3.31	3.80	5.34	6.26	7.52
55	0.06793	0	1.41	2.05	2.71	3.12	4.38	5.14	6.17
60	0.05671	0	1.15	1.68	2.23	2.58	3.59	4.21	5.06
65	0.04569	0	0.95	1.38	1.83	2.10	2.95	3.45	4.15
70	0.03747	0	0.78	1.13	1.50	1.72	2.42	2.83	3.40
75	0.03073	0	0.64	0.92	1.23	1.41	1.98	2.32	2.79
80	0.02520	0	0.52	0.76	1.01	1.16	1.62	1.91	2.29
85	0.02066	0	0.43	0.62	0.83	0.95	1.33	1.56	1.88
90	0.01695	0	0.35	0.51	0.68	0.78	1.09	1.26	1.54
95	0.01390	0	0.29	0.42	0.56	0.64	0.90	1.05	1.26
100	0.01140	0	0.24	0.34	0.46	0.52	0.73	0.86	1.03
105	0.00935	0	0.19	0.28	0.37	0.43	0.60	0.71	0.85
110	0.00766	0	0.16	0.23	0.31	0.35	0.49	0.56	0.70
115	0.00629	0	0.13	0.19	0.25	0.29	0.41	0.48	0.57
120	0.00515	0	0.11	0.16	0.21	0.24	0.33	0.39	0.47
125	0.00423	0	0.09	0.13	0.17	0.19	0.27	0.32	0.38
130	0.00347	0	0.07	0.10	0.14	0.16	0.22	0.26	0.31
135	0.00284	0	0.06	0.09	0.11	0.13	0.18	0.21	0.26
140	0.00233	0	0.05	0.07	0.09	0.11	0.16	0.18	0.21
145	0.00191	0	0.04	0.06	0.08	0.09	0.12	0.14	0.17
150	0.00157	0	0.03	0.05	0.06	0.07	0.10	0.12	0.14
155	0.00129	0	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12
160	0.00105	0	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.10
165	0.00086	0	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08
170	0.00071	0	0.01	0.02	0.03	0.03	0.05	0.05	0.06
175	0.00058	0	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05
180	0.00046	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
185	0.00039	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
190	0.00032	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
195	0.00026	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
200	0.00022	0	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Volumi			6447.71	9618.27	13020.77	15112.47	21717.15	26753.34	31308.60
Portate di picco (m³/s)			3.11	4.52	6.00	6.90	9.68	11.36	13.64



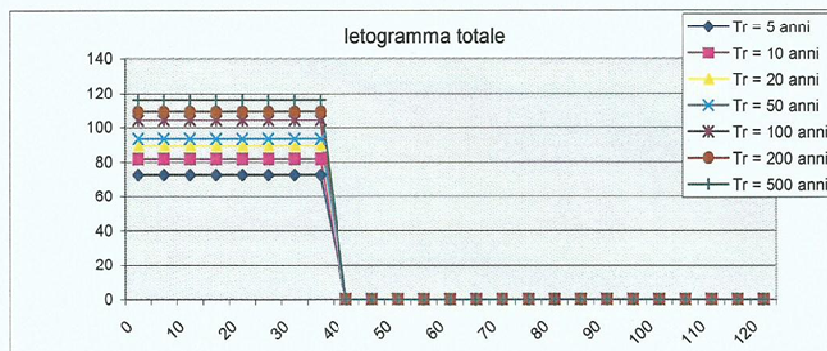
**DETERMINAZIONE DELLE PORTATE CON I DATI IDROLOGICI**  
**IETOGRAMMA COSTANTE E DISTRIBUZIONE DI NORMALE**

Valutazione dei colmi di piena

Portate per i vari tempi di ritorno						
Metodo di Giandotti (Da Deppo-Datei / Peruginelli)						
$T_r =$	5	10	20	50	100	200
$Q_c =$	13.66	15.47	16.94	17.70	19.69	20.70
$Q_e =$	10.97	12.39	13.57	14.18	15.77	16.58
Metodo di Nash						
$T_r =$	5	10	20	50	100	200
$Q_e =$	3.92	5.26	6.46	7.11	8.89	9.83

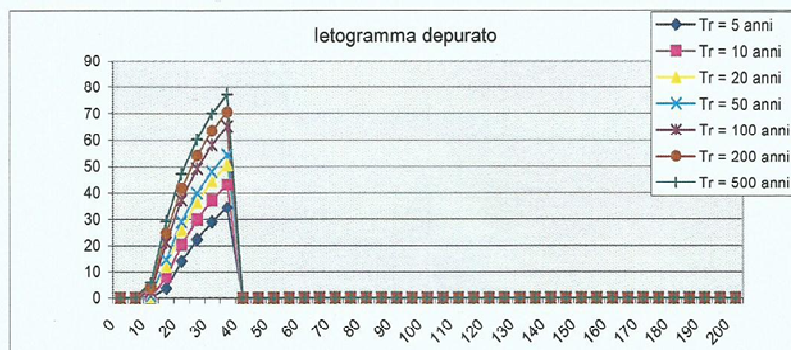
Portate senza indicazione statistica	
<i>Metodo di Whistler-Scimeni</i>	<i>Metodo di Gherardelli-Marchetti</i>
$Q_c = 5.44$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_c = 125.30$ [m <sup>3</sup> /s]
<i>Metodo di Forti (400 mm su 24h)</i>	<i>Metodo di Forti (200 mm su 24h)</i>
$Q_c = 12.66$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_c = 8.95$ [m <sup>3</sup> /s]

Pioggia oraria [i(t)] - Ietogramma costante							
Altezza di pioggia totale per i vari tempi di ritorno [mm/(h·m <sup>2</sup> )]							
Tempo (primi)	5 anni	10 anni	20 anni	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
0	72.46	81.86	89.63	93.67	104.22	109.56	116.04
5	72.46	81.86	89.63	93.67	104.22	109.56	116.04
10	72.46	81.86	89.63	93.67	104.22	109.56	116.04
15	72.46	81.86	89.63	93.67	104.22	109.56	116.04
20	72.46	81.86	89.63	93.67	104.22	109.56	116.04
25	72.46	81.86	89.63	93.67	104.22	109.56	116.04
30	72.46	81.86	89.63	93.67	104.22	109.56	116.04
35	72.46	81.86	89.63	93.67	104.22	109.56	116.04
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume	42.27	47.75	52.28	54.64	60.79	63.91	67.69



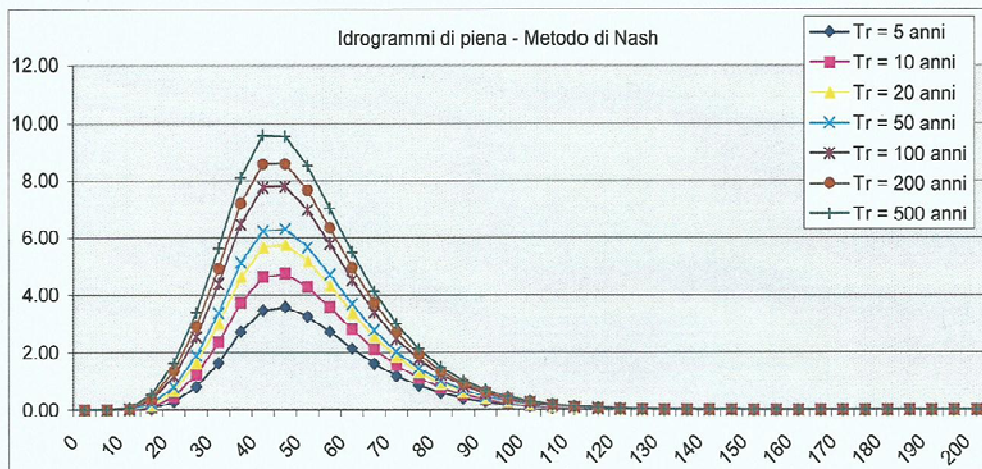


Pioggia depurata istantanea [l/(t)]							
Tempo (primi)	Altezza di pioggia totale per i vari tempi di ritorno [mm/(h·m²)]						
	5 anni	10 anni	20 anni	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.36	0.77	2.51	3.76	5.57
15	3.54	7.80	12.09	14.47	21.09	24.67	29.18
20	13.87	20.23	25.89	28.97	37.36	41.79	47.30
25	22.28	29.77	36.32	39.83	49.28	54.21	60.29
30	28.99	37.26	44.37	48.16	58.27	63.50	69.91
35	34.45	43.24	50.73	54.70	65.22	70.63	77.24
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
140	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume	8.59	11.52	14.15	15.58	19.48	21.55	24.12



**Idrogramma di piena metodo di Nash**

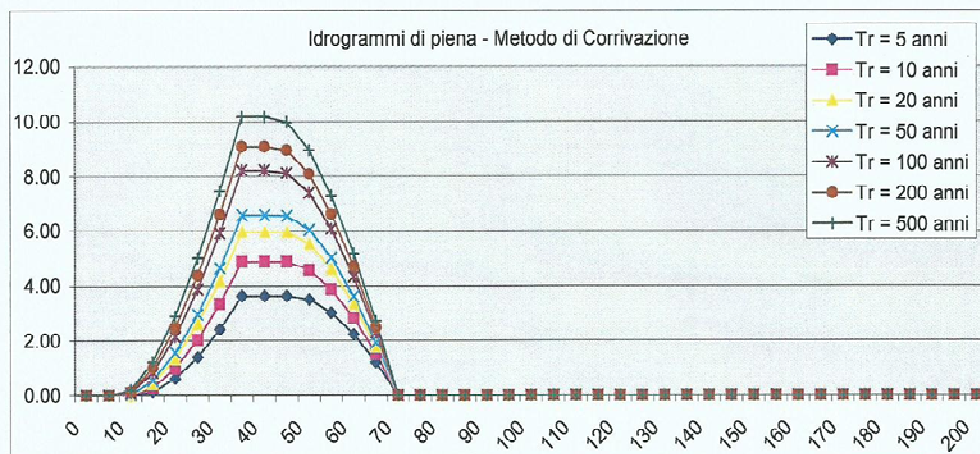
Tempo (primi)	S <sup>n</sup> u(t) (m³/h)	Dt (h)	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno (m³/s)						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.14923	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.34263	0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.05	0.07
15	0.44225	0	0.04	0.10	0.16	0.20	0.33	0.41	0.52
20	0.45116	0	0.27	0.47	0.68	0.80	1.16	1.36	1.63
25	0.40452	0	0.80	1.24	1.65	1.88	2.55	2.92	3.36
30	0.33427	0	1.64	2.35	3.01	3.37	4.39	4.93	5.62
35	0.26108	0	2.72	3.72	4.63	5.12	6.48	7.20	8.10
40	0.19568	0	3.46	4.63	5.67	6.23	7.78	8.57	9.58
45	0.14211	0	3.57	4.73	5.75	6.30	7.80	8.58	9.55
50	0.10060	0	3.25	4.28	5.18	5.67	6.96	7.66	8.61
55	0.06991	0	2.72	3.57	4.30	4.70	5.77	6.33	7.03
60	0.04774	0	2.15	2.81	3.38	3.69	4.62	4.96	5.49
65	0.03215	0	1.62	2.12	2.55	2.78	3.40	3.72	4.12
70	0.02140	0	1.19	1.54	1.86	2.02	2.48	2.71	3.00
75	0.01409	0	0.85	1.10	1.32	1.44	1.78	1.92	2.13
80	0.00920	0	0.59	0.77	0.92	1.00	1.22	1.34	1.46
85	0.00596	0	0.40	0.53	0.63	0.69	0.84	0.92	1.01
90	0.00384	0	0.27	0.35	0.43	0.46	0.56	0.62	0.68
95	0.00245	0	0.18	0.24	0.28	0.31	0.38	0.41	0.45
100	0.00156	0	0.12	0.16	0.19	0.20	0.25	0.27	0.30
105	0.00099	0	0.08	0.10	0.12	0.13	0.16	0.18	0.20
110	0.00062	0	0.05	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.13
115	0.00039	0	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08
120	0.00024	0	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
125	0.00015	0	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
130	0.00009	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
135	0.00006	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
140	0.00004	0	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
145	0.00002	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
150	0.00001	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00001	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00001	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumi			7623.44	10491.56	12676.44	14178.76	17731.43	19613.77	21961.25
Portate di picco [m³/s]			3.57	4.73	5.75	6.30	7.80	8.58	9.58





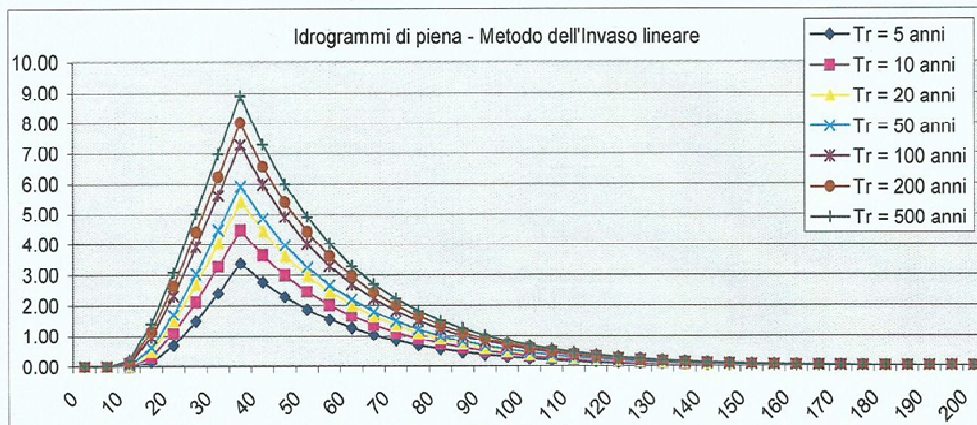
## Idrogramma di piena

Tempo (primi)	$S \cdot u(t)$ [m <sup>3</sup> /s]	Dt (secondi)	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno [m <sup>3</sup> /s]						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.42151	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.42151	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.42151	0	0.00	0.00	0.01	0.03	0.09	0.13	0.20
15	0.42151	0	0.12	0.27	0.44	0.54	0.69	1.00	1.22
20	0.42151	0	0.61	0.98	1.35	1.55	2.14	2.47	2.88
25	0.42151	0	1.39	2.03	2.62	2.95	3.87	4.37	5.00
30	0.42151	0	2.41	3.34	4.18	4.64	5.92	6.60	7.48
35	0.42151	0	3.62	4.86	5.96	6.57	8.21	9.08	10.17
40	0.00000	0	3.62	4.86	5.96	6.57	8.21	9.08	10.17
45	0.00000	0	3.62	4.86	5.95	6.54	8.12	8.95	9.97
50	0.00000	0	3.50	4.58	5.53	6.03	7.38	8.08	8.95
55	0.00000	0	3.01	3.87	4.62	5.01	6.07	6.62	7.29
60	0.00000	0	2.23	2.83	3.34	3.61	4.34	4.71	5.17
65	0.00000	0	1.21	1.52	1.78	1.92	2.29	2.48	2.71
70	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
140	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumi			7607.10	10201.43	12522.31	13786.67	17241.10	19071.39	21353.95
Portate di picco [m <sup>3</sup> /s]			3.62	4.86	5.96	6.57	8.21	9.08	10.17



## Idrogramma di piena

Tempo (primi)	$S \cdot u(t)$ [m <sup>3</sup> /s]	Dt (secondi)	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno [m <sup>3</sup> /s]						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.60215	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.49381	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.40496	0	0.00	0.00	0.01	0.03	0.10	0.15	0.23
15	0.33210	0	0.15	0.32	0.51	0.62	0.95	1.14	1.39
20	0.27234	0	0.69	1.10	1.48	1.70	2.32	2.66	3.09
25	0.22334	0	1.48	2.12	2.71	3.03	3.93	4.41	5.01
30	0.18316	0	2.41	3.27	4.05	4.47	5.62	6.23	6.99
35	0.15020	0	3.39	4.46	5.41	5.92	7.29	8.01	8.91
40	0.12318	0	2.78	3.66	4.44	4.85	5.98	6.57	7.31
45	0.10101	0	2.28	3.00	3.64	3.98	4.90	5.39	5.99
50	0.08284	0	1.87	2.46	2.98	3.26	4.02	4.42	4.91
55	0.06793	0	1.53	2.02	2.45	2.68	3.30	3.62	4.03
60	0.05571	0	1.26	1.66	2.01	2.19	2.70	2.97	3.30
65	0.04669	0	1.03	1.36	1.65	1.80	2.22	2.44	2.71
70	0.03747	0	0.85	1.11	1.35	1.48	1.82	2.00	2.22
75	0.03073	0	0.69	0.91	1.11	1.21	1.49	1.64	1.82
80	0.02520	0	0.57	0.75	0.91	0.99	1.22	1.34	1.49
85	0.02066	0	0.47	0.61	0.74	0.81	1.00	1.10	1.23
90	0.01695	0	0.38	0.50	0.61	0.67	0.82	0.90	1.00
95	0.01390	0	0.31	0.41	0.50	0.55	0.67	0.74	0.82
100	0.01140	0	0.26	0.34	0.41	0.45	0.55	0.61	0.68
105	0.00935	0	0.21	0.28	0.34	0.37	0.45	0.50	0.55
110	0.00766	0	0.17	0.23	0.28	0.30	0.37	0.41	0.45
115	0.00629	0	0.14	0.19	0.23	0.25	0.31	0.34	0.37
120	0.00515	0	0.12	0.15	0.19	0.20	0.25	0.28	0.31
125	0.00423	0	0.10	0.13	0.15	0.17	0.21	0.23	0.25
130	0.00347	0	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.18	0.21
135	0.00284	0	0.06	0.08	0.10	0.11	0.14	0.15	0.17
140	0.00233	0	0.05	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14
145	0.00191	0	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11
150	0.00157	0	0.04	0.05	0.06	0.06	0.08	0.08	0.09
155	0.00129	0	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08
160	0.00105	0	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06
165	0.00086	0	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05
170	0.00071	0	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
175	0.00056	0	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
180	0.00048	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
185	0.00039	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
190	0.00032	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
195	0.00026	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
200	0.00022	0	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Volumi			7075.68	9489.05	11647.85	12823.92	16037.12	17739.60	19862.76
Portate di picco [m <sup>3</sup> /s]			3.39	4.46	5.41	5.92	7.29	8.01	8.91





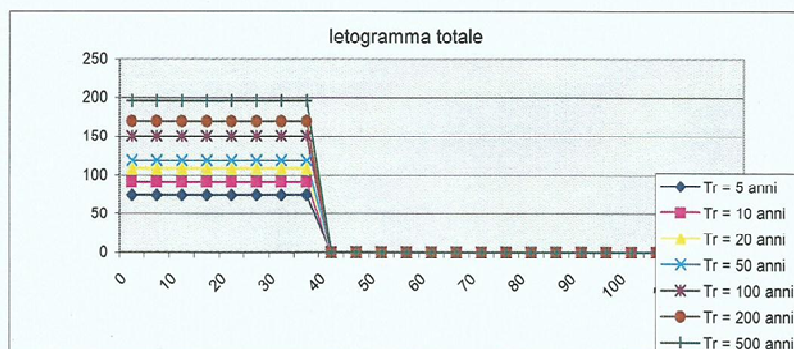
**DETERMINAZIONE DELLE PORTATE CON I DATI IDROLOGICI**  
**IETOGRAMMA COSTANTE E DISTRIBUZIONE DI LOGNORMALE**

Valutazione dei colmi di piena

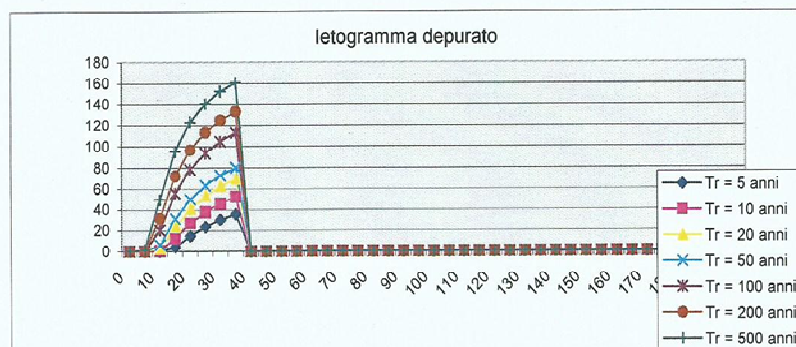
Portate per i vari tempi di ritorno							
Metodo di Giandotti (Da Deppo-Datei / Peruginelli)							
$T_r$ =	5	10	20	50	100	200	500 [anni]
$Q_c$ =	13.20	15.56	17.83	19.13	22.97	25.17	28.07 [ $m^3/s$ ]
$Q_c$ =	10.57	12.46	14.28	15.32	18.40	20.16	22.48 [ $m^3/s$ ]
Metodo di Nash							
$T_r$ =	5	10	20	50	100	200	500 [anni]
$Q_c$ =	4.12	6.72	9.65	11.53	17.73	21.74	27.51 [ $m^3/s$ ]

Portate senza indicazione statistica			
Metodo di Whistler-Scimeni		Metodo di Gherardelli-Marchetti	
$Q_c$ =	5.44 [ $m^3/s$ ]	$Q_c$ =	125.30 [ $m^3/s$ ]
Metodo di Forti (400 mm su 24h)		Metodo di Forti (200 mm su 24h)	
$Q_c$ =	12.66 [ $m^3/s$ ]	$Q_c$ =	8.95 [ $m^3/s$ ]

Pioggia oraria [i(t)] - Ietogramma costante							
Tempo (prima)	Altezza di pioggia totale per i vari tempi di ritorno ( $mm/(h \cdot m^2)$ )						
	5 anni	10 anni	20 anni	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
0	73.94	91.25	108.56	118.83	150.37	169.42	195.76
5	73.94	91.25	108.56	118.83	150.37	169.42	195.76
10	73.94	91.25	108.56	118.83	150.37	169.42	195.76
15	73.94	91.25	108.56	118.83	150.37	169.42	195.76
20	73.94	91.25	108.56	118.83	150.37	169.42	195.76
25	73.94	91.25	108.56	118.83	150.37	169.42	195.76
30	73.94	91.25	108.56	118.83	150.37	169.42	195.76
35	73.94	91.25	108.56	118.83	150.37	169.42	195.76
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume	43.13	53.23	63.33	69.32	87.72	98.83	114.20

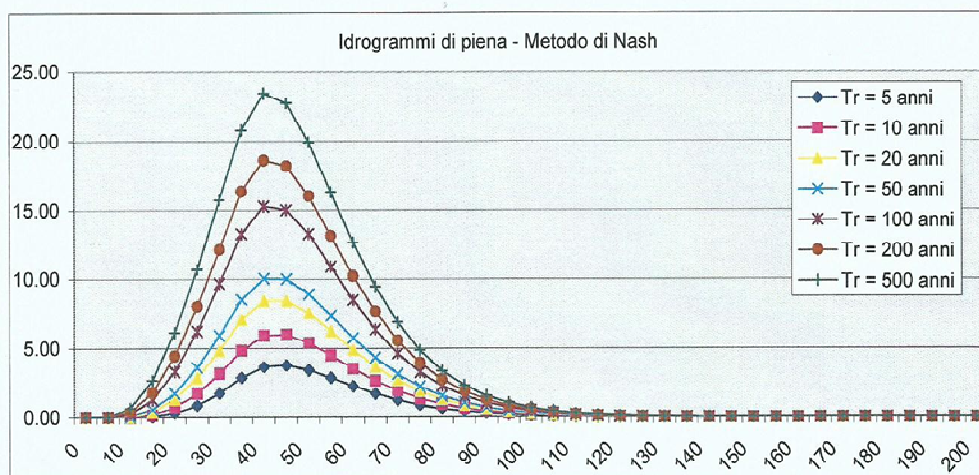


Pioggia depurata istantanea $i(t)$							
Tempo (primi)	Altezza di pioggia totale per i vari tempi di ritorno $(mm/(h \cdot m^2))$						
	5 anni	10 anni	20 anni	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	1.35
10	0.00	0.50	3.51	6.45	20.27	31.60	49.30
15	4.11	13.03	23.99	31.18	55.74	71.98	95.72
20	14.84	27.12	40.95	49.72	78.51	96.88	123.09
25	23.42	37.72	53.28	62.94	93.95	113.32	140.58
30	30.27	45.89	62.51	72.70	104.89	124.74	152.43
35	35.81	52.32	69.61	80.10	112.93	132.99	160.84
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
140	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume	9.04	14.72	21.15	25.26	39.86	47.63	60.27



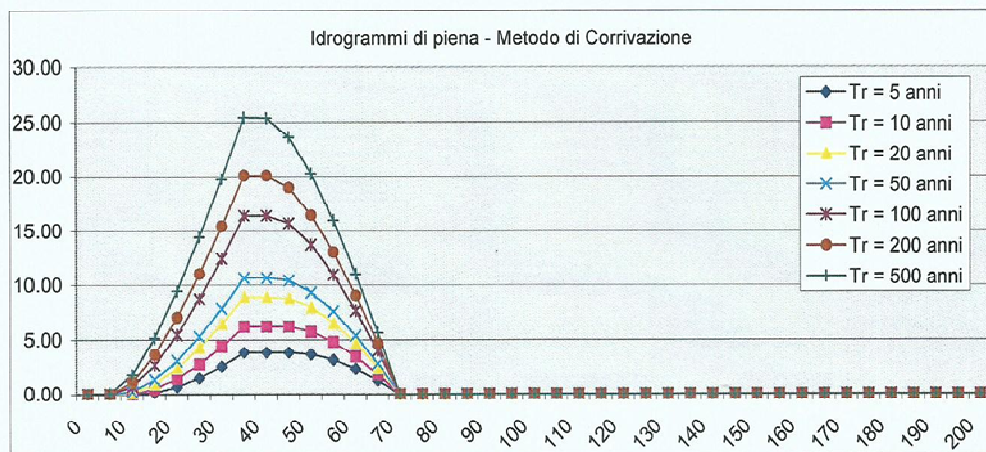


Idrogramma di piena metodo di Nash									
Tempo (primi)	$S^* u(t)$ [m <sup>3</sup> /h]	Dt [h]	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno [m <sup>3</sup> /s]						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.14923	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
10	0.34253	0	0.00	0.01	0.04	0.09	0.25	0.39	0.85
15	0.44225	0	0.05	0.18	0.40	0.57	1.27	1.80	2.85
20	0.45116	0	0.30	0.73	1.32	1.75	3.31	4.43	6.13
25	0.40452	0	0.87	1.74	2.85	3.59	6.23	8.02	10.69
30	0.33427	0	1.75	3.15	4.83	5.92	9.66	12.13	15.74
35	0.26108	0	2.87	4.82	7.06	8.49	13.26	16.34	20.79
40	0.19568	0	3.63	5.89	8.42	10.02	15.26	18.61	23.40
45	0.14211	0	3.75	5.97	8.43	9.98	15.00	18.19	22.73
50	0.10068	0	3.41	5.37	7.53	8.88	13.26	16.02	19.94
55	0.06991	0	2.85	4.46	6.23	7.33	10.88	13.12	16.29
60	0.04774	0	2.25	3.50	4.87	5.73	8.48	10.20	12.64
65	0.03215	0	1.70	2.64	3.66	4.30	6.34	7.53	9.44
70	0.02140	0	1.24	1.92	2.67	3.13	4.61	5.53	6.84
75	0.01409	0	0.88	1.37	1.89	2.22	3.26	3.92	4.84
80	0.00920	0	0.62	0.95	1.32	1.54	2.27	2.72	3.36
85	0.00596	0	0.42	0.65	0.90	1.05	1.55	1.86	2.29
90	0.00384	0	0.29	0.44	0.61	0.71	1.04	1.25	1.54
95	0.00245	0	0.19	0.29	0.40	0.47	0.69	0.83	1.03
100	0.00158	0	0.13	0.19	0.27	0.31	0.46	0.55	0.68
105	0.00099	0	0.08	0.13	0.17	0.20	0.30	0.36	0.44
110	0.00062	0	0.05	0.08	0.11	0.13	0.19	0.23	0.29
115	0.00039	0	0.03	0.05	0.07	0.09	0.12	0.15	0.18
120	0.00024	0	0.02	0.03	0.05	0.05	0.08	0.10	0.12
125	0.00015	0	0.01	0.02	0.03	0.03	0.05	0.06	0.07
130	0.00009	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05
135	0.00006	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
140	0.00004	0	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
145	0.00002	0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
150	0.00001	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00001	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00001	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumi			16452.88	26791.59	38514.81	45985.60	70747.97	98720.99	109740.36
Portate di picco [m <sup>3</sup> /s]			3.75	5.97	8.43	10.02	15.26	18.61	23.40



## Idrogramma di piena

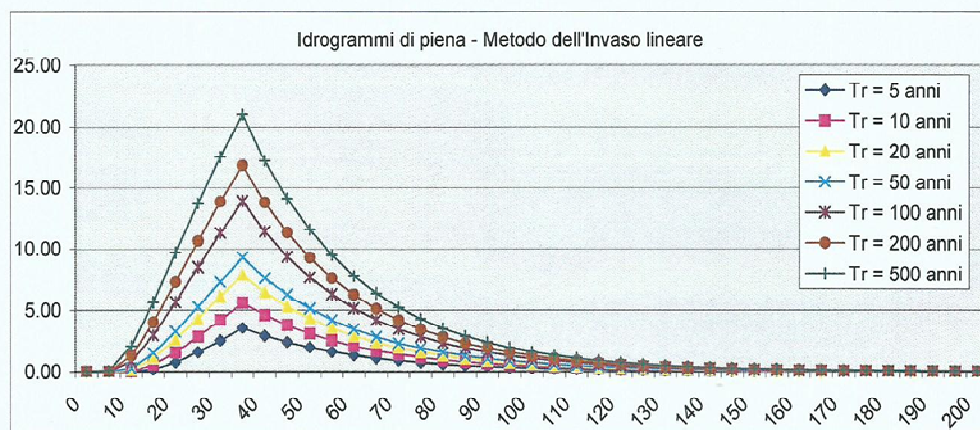
Tempo (primi)	$S + u(t)$ [m <sup>3</sup> /s]	Dt (secondi)	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno (m <sup>3</sup> /s)						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.42151	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.42151	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
10	0.42151	0	0.00	0.02	0.12	0.23	0.71	1.11	1.78
15	0.42151	0	0.14	0.48	0.97	1.32	2.67	3.64	5.14
20	0.42151	0	0.67	1.43	2.40	3.07	5.43	7.04	9.46
25	0.42151	0	1.49	2.75	4.28	5.28	8.73	11.02	14.40
30	0.42151	0	2.55	4.36	6.47	7.83	12.41	15.41	19.76
35	0.42151	0	3.81	6.20	8.92	10.65	16.38	20.08	25.41
40	0.00000	0	3.81	6.20	8.92	10.65	16.38	20.07	25.36
45	0.00000	0	3.81	6.18	8.79	10.42	15.67	18.96	23.63
50	0.00000	0	3.66	5.73	7.95	9.32	13.71	16.44	20.26
55	0.00000	0	3.14	4.77	6.51	7.58	10.95	13.03	15.94
60	0.00000	0	2.32	3.45	4.64	5.37	7.65	9.05	11.00
65	0.00000	0	1.26	1.84	2.45	2.81	3.97	4.67	5.55
70	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
140	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
165	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
190	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumi			15997.90	26050.71	37449.75	44713.95	66791.56	64322.78	106705.66
Portate di picco [m <sup>3</sup> /s]			3.81	6.20	8.92	10.65	16.38	20.08	25.41





## Idrogramma di piena

Tempo (primi)	S * u(t) [m³/s]	Dt (secondi)	Valore portata in funzione del tempo per ogni tempo di ritorno [m³/s]						
			2	10	20	30	100	200	500
0	0.60215	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.49381	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
10	0.40496	0	0.00	0.02	0.14	0.27	0.83	1.30	2.07
15	0.33210	0	0.17	0.55	1.11	1.50	2.98	4.03	5.64
20	0.27234	0	0.75	1.57	2.59	3.28	5.67	7.29	9.69
25	0.22334	0	1.58	2.84	4.32	5.28	8.52	10.64	13.73
30	0.18316	0	2.54	4.22	6.11	7.32	11.30	13.86	17.53
35	0.15020	0	3.56	5.61	7.88	9.30	13.92	16.84	21.00
40	0.12518	0	2.92	4.60	6.46	7.63	11.41	13.81	17.22
45	0.10101	0	2.39	3.77	5.30	6.25	9.36	11.33	14.12
50	0.08284	0	1.96	3.09	4.34	5.13	7.67	9.29	11.53
55	0.06793	0	1.61	2.54	3.50	4.21	6.29	7.62	9.50
60	0.05571	0	1.32	2.08	2.92	3.45	5.16	6.25	7.79
65	0.04569	0	1.08	1.71	2.40	2.83	4.23	5.12	6.39
70	0.03747	0	0.89	1.40	1.97	2.32	3.47	4.20	5.24
75	0.03073	0	0.73	1.15	1.61	1.90	2.85	3.44	4.30
80	0.02520	0	0.60	0.94	1.32	1.56	2.33	2.82	3.52
85	0.02066	0	0.49	0.77	1.08	1.28	1.91	2.32	2.89
90	0.01695	0	0.40	0.63	0.89	1.05	1.57	1.90	2.37
95	0.01390	0	0.33	0.52	0.73	0.86	1.29	1.56	1.94
100	0.01140	0	0.27	0.43	0.60	0.71	1.06	1.28	1.59
105	0.00935	0	0.22	0.35	0.49	0.58	0.87	1.05	1.31
110	0.00766	0	0.18	0.29	0.40	0.47	0.71	0.86	1.07
115	0.00629	0	0.15	0.23	0.33	0.39	0.58	0.70	0.88
120	0.00515	0	0.12	0.19	0.27	0.32	0.48	0.58	0.72
125	0.00423	0	0.10	0.16	0.22	0.26	0.39	0.47	0.59
130	0.00347	0	0.08	0.13	0.18	0.21	0.32	0.39	0.48
135	0.00284	0	0.07	0.11	0.15	0.18	0.26	0.32	0.40
140	0.00233	0	0.06	0.09	0.12	0.14	0.22	0.26	0.33
145	0.00191	0	0.05	0.07	0.10	0.12	0.18	0.21	0.27
150	0.00157	0	0.04	0.06	0.08	0.10	0.15	0.18	0.22
155	0.00129	0	0.03	0.05	0.07	0.08	0.12	0.14	0.18
160	0.00105	0	0.02	0.04	0.06	0.07	0.10	0.12	0.15
165	0.00086	0	0.02	0.03	0.05	0.05	0.08	0.10	0.12
170	0.00071	0	0.02	0.03	0.04	0.04	0.07	0.08	0.10
175	0.00058	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08
180	0.00048	0	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
185	0.00039	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.04	0.05
190	0.00032	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04
195	0.00026	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04
200	0.00022	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
Volumi			14980.74	24231.55	34834.57	41591.49	63987.72	78434.37	99254.24
Portate di picco [m³/s]			3.56	5.61	7.88	9.30	13.92	16.84	21.00



Tipo di funzione di distribuzione di probabilità	Metodo di individuazione dell'idrogramma	PORTATE MASSIME			SEZIONE DI VALLE			
		(m³/s)						
		Tempo di ritorno						
		2 anni	10 anni	20 anni	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
Gumbel	Nash	5.12	6.98	8.89	10.06	13.61	15.72	18.55
	Corrivazione	5.33	7.38	9.50	10.77	14.67	17.00	20.15
	Invaso lineare	4.80	6.51	8.24	9.27	12.38	14.22	16.68
Normale	Nash	5.50	6.91	8.12	8.78	10.57	11.49	12.63
	Corrivazione	5.75	7.30	8.65	9.38	11.32	12.34	13.59
	Invaso lineare	5.15	6.44	7.55	8.14	9.71	10.53	11.53
Lognormale	Nash	5.71	8.36	11.29	13.09	18.84	22.42	27.46
	Corrivazione	5.98	8.92	12.11	14.09	20.47	24.48	30.16
	Invaso lineare	5.34	7.77	10.35	11.93	16.93	20.03	24.37
	Valore max	5.98	8.92	12.11	14.09	20.47	24.48	30.16

Tipo di funzione di distribuzione di probabilità	Metodo di individuazione dell'idrogramma	PORTATE MASSIME			SEZIONE DI MONTE			
		(m³/s)						
		Tempo di ritorno						
		2 anni	10 anni	20 anni	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
Gumbel	Nash	3.27	4.79	6.40	7.37	10.45	12.35	14.94
	Corrivazione	3.30	4.92	6.67	7.74	11.12	13.18	16.03
	Invaso lineare	3.11	4.52	6.00	6.90	9.68	11.36	13.64
Normale	Nash	3.57	4.73	5.75	6.30	7.80	8.58	9.58
	Corrivazione	3.62	4.86	5.96	6.57	8.21	9.08	10.17
	Invaso lineare	3.39	4.46	5.41	5.92	7.29	8.01	8.91
Lognormale	Nash	3.75	5.97	8.43	10.02	15.26	18.61	23.40
	Corrivazione	3.81	6.20	8.92	10.65	16.38	20.08	25.41
	Invaso lineare	3.56	5.61	7.88	9.30	13.92	16.84	21.00
	Valore max	3.81	6.20	8.92	10.65	16.38	20.08	25.41

Nel caso di opere idrauliche di importanza limitata relative a opere infrastrutturali, come fossi di guardia, cunette e tombini, è possibile riferirsi a dati pluviometrici con frequenze comprese tra 10 e 50 anni

#### 6.2.4 *Acque di piattaforma*

Il calcolo per evacuazione delle acque della piattaforma stradale è stato effettuato con i metodi precedentemente illustrati e la portata massima relativa al tombino i-esimo lungo la strada è di **0,18 mc/s**. Tale portata viene smaltita attraverso la tubazione della fognatura stradale, realizzata con tubazione in PEAD corrugata esternamente e liscia internamente del diametro esterno di 500 mm (418 interno). I pozzetti stradali sono realizzati con tubazioni in PEAD corrugate esternamente e lisce internamente del diametro esterno di 800 mm (669 interno).

Per quanto riguarda i tratti in trincea, la piattaforma stradale è dotata su entrambi i lati di cunetta a sezione trapezia con caditoie ogni 50 metri che convogliano le acque in una fognatura stradale di diametro 500 mm.

#### 6.3 *Verifica fossi di guardia, pozzetti, tombini e fognature*

Le verifiche del dimensionamento dei fossi di guardia, al piede del rilevato e a protezione della scarpata, sono state effettuate con la *formula di Chezy* che tiene conto della geometria del canale, del coefficiente di rugosità del materiale di rivestimento e della pendenza dell'alveo.

Le tubazioni sono state verificate con la *formula di Gauckler-Strickler*, che tiene anch'essa conto di un coefficiente di scabrezza della tubazione.

Si riportano di seguito le verifiche degli elementi idraulici che percepiscono le maggiori portate:

- il primo pozzetto stradale da dimensionare si trova in corrispondenza della rotatoria che interessa la SP 2 Orbetellana e Via Tramontana, ed è chiamato a smaltire la portata del bacino riguardante la zona (1,02 mc/s) e della piattaforma stradale (0,12 mc/s) dalla sezione E alla sezione F, per un totale di 1,14 mc/s

Tubazione circolare  $D = 0,66 \text{ m}$

$$A = 0,342 \text{ m}^2$$

Portata defluente  $Q_{def} = 1,14 \text{ mc/s}$

Pendenza condotta  $i = 0,05$

Grado di riempimento  $w = 100\%$

Raggio idraulico  $R = \frac{d}{4} = 0,17 \text{ m}$

Adottando la *formula di Chezy*, si ricerca il coefficiente di attrito  $X$  secondo *Gauckler-Strickler* supponendo regime turbolento e acque limpide:

Coefficiente di attrito  $X = kR^{1/6} = 88,87$

dove:

$K = 120$  coefficiente di scabrezza delle pareti della tubazione in PVC

Velocità di deflusso  $V = kR^{2/3}i^{1/2} = 8,07 \text{ m/s}$

Portata massima nel canale  $Q_{max} = V \cdot A = 2,76 \text{ mc/s}$

$Q_{def} \leq Q_{max}$  la sezione risulta verificata

- il secondo pozzetto stradale da dimensionare si trova in corrispondenza dell'incrocio tra la SP 2 Orbetellana e la Strada Privata Marina Cala Galera dove è stata



progettata l'intersezione a "T" con corsia di accumulo, ed è chiamato a smaltire la portata del bacino riguardante la zona (1,94 mc/s) e della piattaforma stradale (0,18 mc/s) a destra e sinistra di esso, per un totale di 2,12 mc/s

Tubazione circolare  $D = 0,66 \text{ m}$

$$A = 0,342 \text{ m}^2$$

Portata defluente  $Q_{def} = 2,12 \text{ mc/s}$

Pendenza condotta  $i = 0,05$

Grado di riempimento  $w = 100\%$

Raggio idraulico  $R = \frac{d}{4} = 0,17 \text{ m}$

Adottando la *formula di Chezy*, si ricerca il coefficiente di attrito  $X$  secondo *Gauckler-Strickler* supponendo regime turbolento e acque limpide:

Coefficiente di attrito  $X = kR^{1/6} = 88,87$

dove:

$K = 120$  coefficiente di scabrezza delle pareti della tubazione in PVC

Velocità di deflusso  $V = kR^{2/3}i^{1/2} = 8,07 \text{ m/s}$

Portata massima nel canale  $Q_{max} = V \cdot A = 2,76 \text{ mc/s}$

$Q_{def} \leq Q_{max}$  la sezione risulta verificata

- I quattro tombini che vengono installati sulla superficie stradale dell'anello di ogni rotatoria verranno collegate alla fognatura stradale preesistente convogliante le acque in un canale che sfocia nel porto di Cala Galera, nella zona adiacente agli scali di alaggio e varo del Cantiere Navale "Nautica Cala Galera". Tale fognatura stradale, come detto precedentemente, è costituita da tubazione in PEAD corrugata

esternamente e liscia internamente di diametro esterno 500 mm (418 interno); questa recepisce le acque del bacino riguardante la zona (0,73 mc/s) oltre all'acqua della piattaforma stradale (0,16 mc/s), per un totale di 0,89 mc/s.

Tubazione circolare	$D = 0,41 \text{ m}$
	$A = 0,342 \text{ m}^2$
Portata defluente	$Q_{def} = 0,89 \text{ mc/s}$
Pendenza condotta	$i = 0,07$
Grado di riempimento	$w = 100\%$
Raggio idraulico	$R = d/4 = 0,10 \text{ m}$

Adottando la *formula di Chezy*, si ricerca il coefficiente di attrito  $X$  secondo *Gauckler-Strickler* supponendo regime turbolento e acque limpide:

Coefficiente di attrito	$X = kR^{1/6} = 82,09$
-------------------------	------------------------

dove:

$K = 120$  coefficiente di scabrezza delle pareti della tubazione in PVC

Velocità di deflusso	$V = kR^{2/3}i^{1/2} = 6,95 \text{ m/s}$
----------------------	------------------------------------------

Portata massima nel canale	$Q_{max} = V \cdot A = 0,92 \text{ mc/s}$
----------------------------	-------------------------------------------

$$Q_{def} \leq Q_{max} \text{ la sezione risulta verificata}$$

- Tutti i fossi di guardia hanno geometria trapezia e sono realizzati con scavo su terra; le dimensioni di base e l'altezza sono di 0,50 metri. Si riporta la verifica della sezione di efflusso interessata dalla maggiore portata effluente lungo tutto il tracciato stradale, ovvero la sezione del fosso di guardia a lato della Strada Privata Marina di Cala Galera. La sezione in questione si trova nella strada suddetta tra le

sezioni 3 e 11 e raccoglie le acque relative al bacino idrografico di cui la zona fa parte (1,91 mc/s) e alla piattaforma stradale (0,18 mc/s), per un totale di 2,09 mc/s

Sezione trapezia  $B = 0,50 \text{ m}$

$H = 0,50 \text{ m}$

$H_{liv} = 0,45$

$B$  = larghezza di base della sezione

$H$  = altezza sezione

$H_{liv}$  = altezza d'acqua nella sezione

Raggio idraulico  $R = \frac{A}{C} = 0,42 \text{ m}$

Area bagnata  $A = 0,55 \text{ m}^2$

Contorno bagnato  $C = 1,30 \text{ m}$

Pendenza geometrica fosso di guardia  $i = 7\%$

Portata defluente  $Q_{def} = 2,09 \text{ mc/s}$

Adottando la formula di *Chezy*, si ricerca il coefficiente di attrito  $X$  secondo *Kutter* supponendo regime turbolento e acque limpide:

Coefficiente di attrito  $X = \frac{100}{1 + \frac{\mu}{\sqrt{R}}} = 96,29$

dove

$\mu$  = coefficiente di scabrezza delle pareti del canale valutato per pareti in terra con erba sul fondo

Velocità di deflusso  $V = X \cdot \sqrt{(R \cdot i)} = 16,51 \text{ m/s}$

Portata massima nel canale  $Q = V \cdot A = 9,08 \text{ mc/s}$

$Q_{def} \leq Q_{max}$  la sezione risulta verificata

#### 6.4 *Conclusioni del dimensionamento idraulico*

Tutte le opere di presidio idraulico dei manufatti e del rilevato stradale risultano verificate con le portate di progetto con tempo di ritorno cinquantennale per i bacini imbriferi di competenza; questi ultimi sono da classificarsi di livello secondario e con estensioni territoriali molto limitate.

Gli apporti degli afflussi idrici nell'alveo del fosso di Cala Galera che sfocia in mare, rimangono invariati rispetto alla situazione ante-opera.

# Livello di Servizio

## 7.1 Obiettivo

L'obiettivo di questa fase dello studio è stato quello di andare a confrontare la qualità della circolazione, in termini di Livello di Servizio, della strada esistente con quella che si avrà dopo la realizzazione delle rotatorie gemelle in corrispondenza delle intersezioni a raso alle porte del centro abitato di Porto Ercole.

## 7.2 La circolazione veicolare

Il fenomeno circolatorio veicolare si analizza, in genere, per due diverse e separate situazioni, denominate *flusso interrotto* e *flusso ininterrotto*.

Il primo si instaura quando i veicoli che percorrono un certo tratto di corsia o di strada subiscono un disturbo ed in particolare devono arrestarsi per motivi esterni alla corrente di traffico, quali la presenza di un semaforo, di un segnale o, in genere, per le interferenze con gli altri flussi. Le perturbazioni per motivi interni alla stessa corrente non rientrano così nello specifico del flusso interrotto.

Si ha *flusso ininterrotto*, quando i veicoli che percorrono un certo tratto di una corsia o di una strada non subiscono disturbo ed in particolare, non sono costretti ad arresti per cause estranee alla corrente di traffico. In questo caso il deflusso può però perturbarsi per cause al suo interno, come ad esempio un incidente, il rientro di un veicolo dalla corsia di emergenza, ecc.

### 7.3 *Livello di Servizio in condizioni di flusso ininterrotto*

Le condizioni di circolazione dipendono, dunque, da numerosi fattori connessi al tipo di strada, alle sue caratteristiche geometriche, al numero e tipologia di intersezioni, ai parametri della circolazione (portata, velocità e densità veicolare), alla composizione del traffico, al tipo di utenti (pendolari e non), alle condizioni meteorologiche, alle condizioni di illuminazione ed altri ancora.

Caratterizzare quantitativamente le condizioni di circolazione tenendo conto i così tanti fattori è evidentemente difficile e poco pratico, perciò è stata elaborata negli USA una metodologia atta ad individuare la qualità della circolazione attraverso il concetto di *Livello di Servizio* (L.d.S) definito, appunto, come “una misura qualitativa delle condizioni di circolazione e della loro percezione da parte degli utenti”.

Nel 1950 fu pubblicata la prima edizione dell'Highway Capacity Manual (HCM) in cui si illustravano i criteri per la valutazione del L.d.S; si sono poi succedute numerose edizioni che hanno via via recepito i risultati dei numerosi studi teorici e sperimentali, nonché osservazioni e suggerimenti da più parti mossi. La diffusione dell'HCM è stata enorme e non vi è Paese che non vi faccia riferimento in modo totale o, come in Svizzera e in Germania, con qualche adeguamento alle realtà nazionali.

I criteri adottati per l'analisi si desumono dall' HCM 2010 e si riferiscono a condizioni di flusso ininterrotto.

Per tutte le tipologie di strade vengono definiti sei Livelli di Servizio designati con le lettere da A ad F, ciascuno indicativo di determinate condizioni di circolazione che di seguito si descrivono:

- L.d.S A – rappresenta le condizioni di flusso libero con totale assenza di condizionamento dei veicoli;

- L.d.S B – rappresenta le condizioni di deflusso con qualche limitazione alla libertà di manovra, ma ancora con elevate condizioni di comfort fisico e psicologico;
- L.d.S. C - si hanno maggiori condizionamenti: per mantenere la velocità desiderata occorrono cambi di corsia e/o sorpassi piuttosto frequenti che richiedono notevole attenzione da parte degli utenti;
- L.d.S D – in queste condizioni il flusso è ancora stabile, ma la libertà di manovra è notevolmente ridotta ed è basso il livello di comfort fisico e psicologico degli utenti;
- L.d.S E – i condizionamenti sono pressoché totali ed i livelli di comfort sono scadenti; il limite inferiore di questo livello corrisponde alla capacità; le condizioni di deflusso sono al limite della instabilità;
- L.d.S F – questo livello rappresenta le condizioni di flusso forzato con frequenti ed imprevedibili arresti della corrente, ossia con marcia a singhiozzo (stop and go).

I parametri che intervengono nella determinazione del L.d.S sono quelli fondamentali della circolazione:

- *Portata oraria o tasso di flusso*, pari al rapporto tra il volume orario dell'ora di punta ed il fattore dell'ora di punta:  $Q = VHP / phf$
- *Velocità*: nel calcolo del L.d.S viene considerata la *velocità media del viaggio*  $V_s$  (per strade a due corsie bidirezionali) e la *velocità a flusso libero*  $VFL$  (per le strade a doppia carreggiata).

Di seguito vengono richiamate le prescrizioni delle Norme Italiane circa i Livelli di Servizio minimi richiesti per ciascun tipo di strada:

Tipo di strada		L.d.S. minimo
Autostrade	Extraurbane	B
	Urbane	C
Extraurbane principali		B
Extraurbane secondarie		C
Urbane di scorrimento		E
Urbane di quartiere		E
Locali	Extraurbane	C
	Urbane	E

Tab. 7.1 Livello di Servizio minimo per ciascun tipo di strada secondo le Norme CNR

#### 7.4 Il caso in esame

In un primo momento è stato valutato il L.d.S della Strada Provinciale 2 Orbetellana, in quanto è la strada principale in cui le altre si immettono ed è interessata dal maggior *tasso di flusso* pari a  $Q=665$  veic. equiv./h; tale dato è stato reperito dal Piano Urbano del Traffico del Comune di Monte Argentario redatto dalla società SINTAGMA di Perugia.

Tale strada è caratterizzata da due corsie, in cui la circolazione si svolge in modo alquanto diverso rispetto a quelle a carreggiate separate perché per superare i veicoli più lenti occorre invadere la corrente di marcia della corrente opposta.

Caratteristiche geometriche tali da non garantire le visuali di sorpasso, danno luogo alla formazione di plotoni costituiti da veicoli veloci costretti ad accodarsi a quelli più lenti; quindi una parte del tempo di viaggio è costituita dal tempo che si trascorre in attesa di poter eseguire il sorpasso e ne deriva una diminuzione della velocità media del viaggio.

In considerazione di quanto detto sopra, vengono assunti come parametri caratterizzanti il Livello di Servizio la *percentuale di tempo speso in coda* (PTC) e la *velocità media del viaggio* ( $V_s$ )



#### 7.4.1 *Calcolo del Livello di Servizio della strada esistente*

Dati a disposizione:  $Q = 665$  veic. equiv./ora

$$Q = VHP / phf \cdot f_g \cdot f_{HV}$$

$$VHP = Q \cdot phf \cdot f_g \cdot f_{HV}$$

$phf = 0,90$  per strade extraurbane a destinazione turistica

$f_g = 0,93$  fattore che tiene conto dell'andamento altimetrico del terreno; per terreno ondulato e  $Q > 600-1200$  veic. equiv./ora

$f_{HV}$  : fattore che tiene conto dei veicoli lenti

$$f_{HV} = 1 / (1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_R \cdot (E_R - 1))$$

dove:

$P_T = 3,5\%$  percentuale dei mezzi pesanti

$P_R = 34\%$  percentuale dei veicoli turistici

$E_T = 1,9$  equivalente in autovetture dei mezzi pesanti

$E_R = 1,1$  equivalente in autovetture dei veicoli turistici

$$VHP = 523 \text{ veic./h}$$

$$TGM = VHP / \alpha$$

$\alpha = 0,15$  per strada turistica

$$TGM = 3847 \text{ veic./giorno}$$

$$V_S = VFL - 0,0125 \cdot Q - f_{np}$$

VFL: velocità effettiva di flusso libero =  $BVFL - f_{cb} - f_a$

BVFL: velocità di flusso libero in condizioni base =  $\sum V_i \cdot L_i / L_i = 99,65 \text{ km/h}$

$f_{cb}$ : riduzione di velocità per insufficienza larghezza corsie e/o banchine = 2,8

$f_a$ : riduzione di velocità per frequenza dei punti di accesso = 4,0

$f_{np}$ : termine riduttivo che tiene conto di  $Q$  e della percentuale di tracciato a sorpasso impedito = 4,9

$$VFL = 92,85 \text{ km/h}$$

$$V_S = 78,64 \text{ km/h}$$

BPTC: percentuale base di tempo in coda

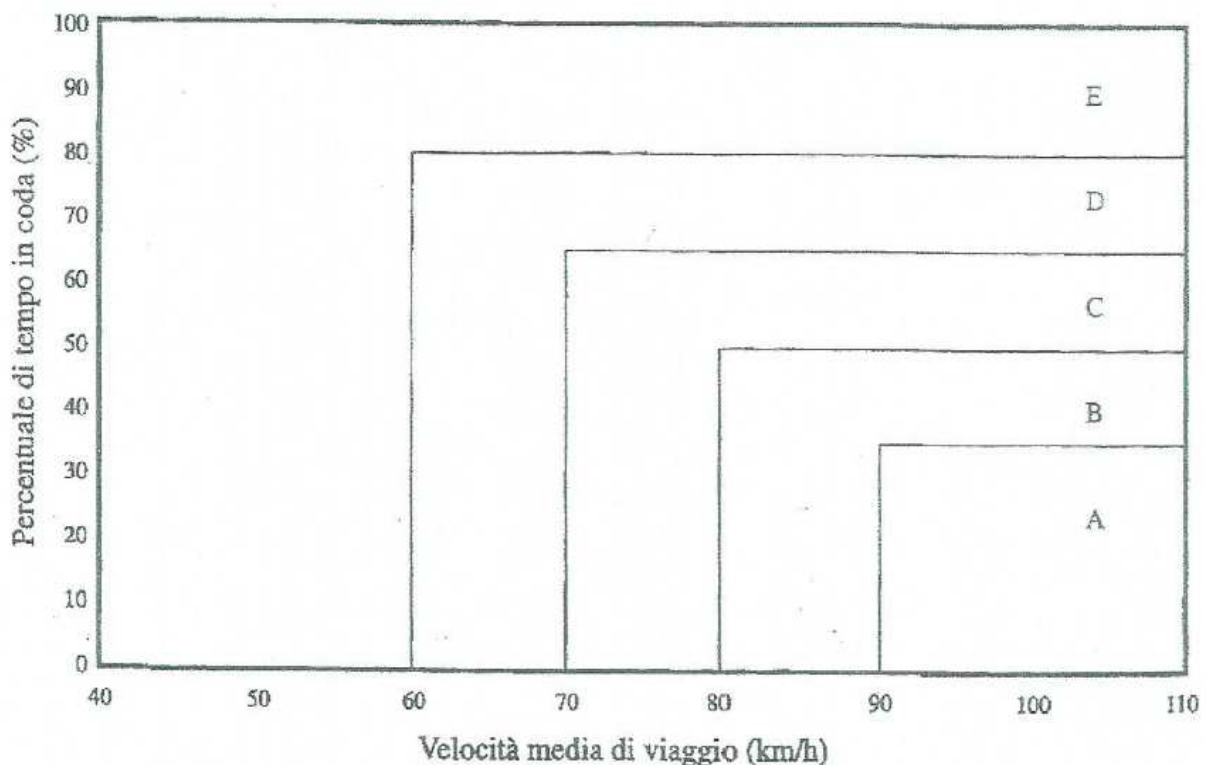
$$BPTC = 100 \cdot (1 - e^{-0,000879Q}) = 44,26$$

PTC: percentuale di tempo speso in coda

$$PTC = (BPTC + f_{d/np}) = 58,66\%$$

$f_{d/np}$ : fattore che tiene conto dell'entità della portata totale, della distribuzione nei due sensi di Marcia e della percentuale di tracciato con sorpasso impedito = 15,4

Con i valori ricavati di  $V_S$  e PTC entro nella tabella sotto riportata e ricavo il Livello di Servizio della strada considerata:



Tab. 7.2 Rappresentazione grafica dei Livelli di Servizio per le strade C

Ricavo un Livello di Servizio pari a C

#### 7.4.2 *Calcolo del Livello di Servizio dei bracci in entrata in ogni rotatoria*

In un primo momento viene calcolata la *capacità all'entrata*  $C_e$  per ogni braccio della rotatoria secondo una formula riportata nell'HCM 2010, per poi essere confrontata con la *portata*  $Q_e$  che interessa ciascuna entrata; quest'ultimo dato è stato ricavato dal Piano Urbano del Traffico del Comune di Monte Argentario.

##### 7.4.2.1 *Ramo SP 2 Orbetellana – Porto Ercole*

$$C_e = A \cdot e^{-BQ}$$

$$A = 3600/t_f$$

$$B = (t_c - 0,5 \cdot t_f)/3600$$

$t_c$  *critical gap* : tempo minimo tra due veicoli in transito nell'anello, tale da consentire l'immissione ideale da parte di un veicolo in attesa sulla sezione di entrata;

$t_f$  *follow up time* : tempo che intercorre tra l'entrata di due veicoli successivi, nel caso in cui entrambi usufruiscano dello stesso varco spazio-temporale tra i veicoli percorrenti l'anello.

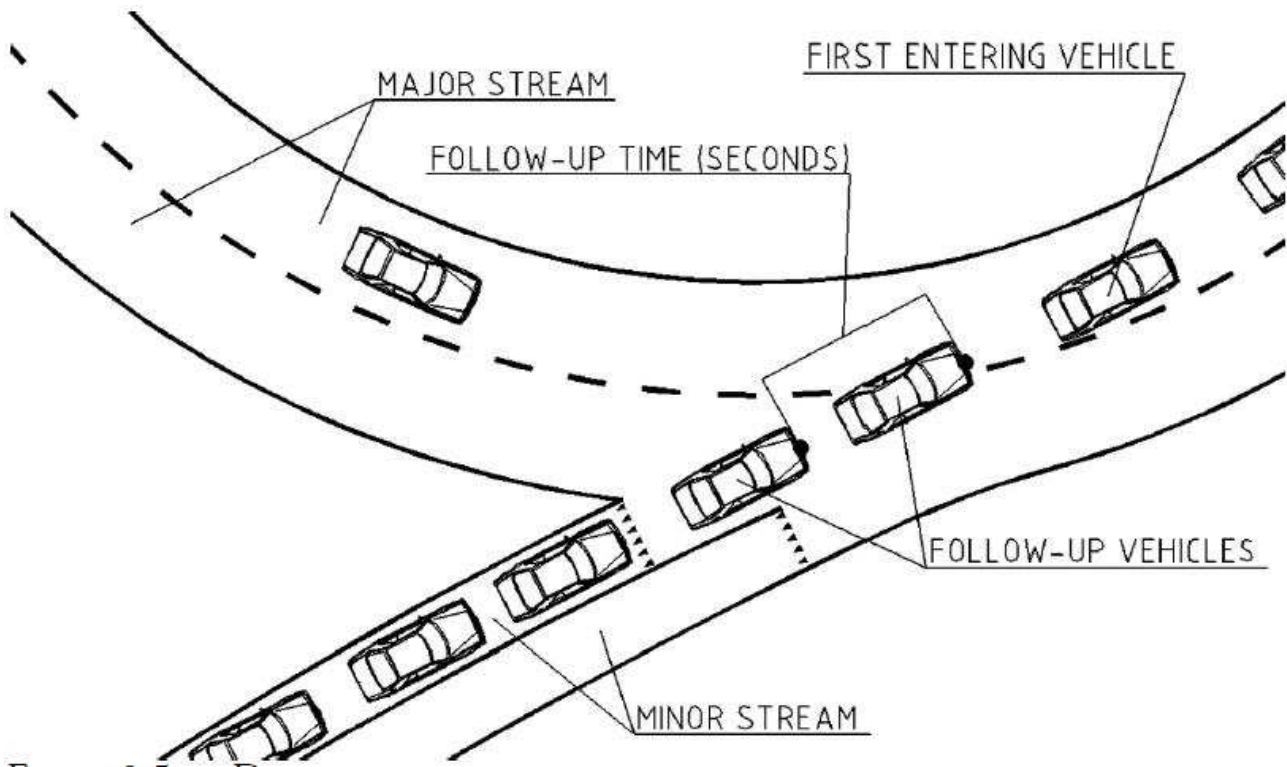


Fig. 7.3 Determinazione del gap

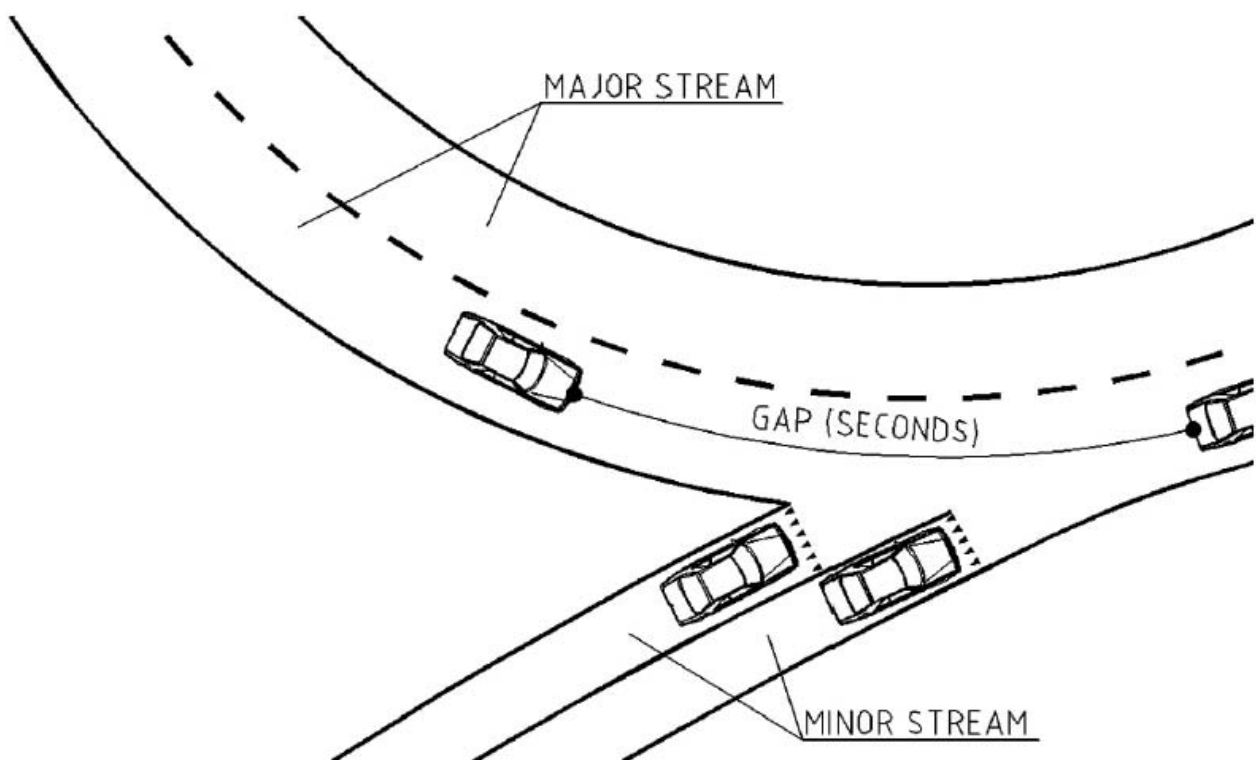


Fig. 7.4 Determinazione follow-up time

$$A = 1241$$

$$B = 0,00082$$

$$Q = 665 \text{ veic. equiv./ora}$$

$$C_e = 719 \text{ veic./h}$$

Grado di saturazione  $X$ :  $X = Q / C_e = 0,93$

Tempo medio di attesa associato ad un ramo della rotatoria  $d$ :

$$d = (3600/c) + 900 \cdot T \cdot [(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + (3600 \cdot X)/(450 \cdot C_e \cdot T)}]$$

$T$  : periodo di analisi pari a 15 minuti = 0,25h

$$d = 14,31 \text{ s/veicolo}$$

In base al tempo medio di attesa " $d$ ", ricavo il L.d.S del ramo della rotatoria entrando con tale dato nella tabella seguente:

Livello di servizio	Ritardo medio
A	$d \leq 10$
B	$10 < d \leq 20$
C	$20 < d \leq 35$
D	$35 < d \leq 55$
E	$55 < d \leq 80$
F	$d > 80$

Tab. 7.5 Livello di Servizio in funzione del Ritardo medio

Otengo un Livello di Servizio pari a B

#### 7.4.2.2 Ramo Porto Ercole – Sp 2 Orbetellana

$$C_e = A \cdot e^{-BQ}$$

$$A = 3600/t_f$$

$$B = (t_c - 0,5 \cdot t_f)/3600$$

$$A = 1241$$

$$B = 0,00082$$

$$Q = 598 \text{ veic. equiv./ora}$$

$$C_e = 760 \text{ veic./h} \quad \text{Capacità Effettiva}$$

$$C_{eP} = 0,9 \cdot C_e = 684 \text{ veic/h} \quad \text{Capacità pratica}$$

Grado di saturazione  $X$ :  $X = Q / C_{eP} = 0,87$

Tempo medio di attesa associato ad un ramo della rotatoria  $d$ :

$$d = (3600/c) + 900 \cdot T \cdot [(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + (3600 \cdot X)/(450 \cdot C_e \cdot T)}]$$

$T$  : periodo di analisi pari a 15 minuti = 0,25h

$$d = 14,42 \text{ s/veicolo}$$

In base al tempo medio di attesa " $d$ ", ricavo il L.d.S del ramo della rotatoria entrando con tale dato nella tabella seguente:

Livello di servizio	Ritardo medio
A	$d \leq 10$
B	$10 < d \leq 20$
C	$20 < d \leq 35$
D	$35 < d \leq 55$
E	$55 < d \leq 80$
F	$d > 80$

Tab. 7.5 Livello di Servizio in funzione del Ritardo medio

Otengo un Livello di Servizio pari a B

#### 7.4.2.3 Ramo Via Tramontana

$$C_e = A \cdot e^{-BQ}$$

$$A = 3600/t_f$$

$$B = (t_c - 0,5 \cdot t_f)/3600$$

$$A = 1241$$

$$B = 0,00082$$

$$Q = 457 \text{ veic. equiv./ora}$$

$$C_e = 853 \text{ veic./h } \textit{Capacità Effetiva}$$

$$C_{ep} = 0,9 \cdot C_e = 767 \text{ veic/h } \textit{Capacità Pratica}$$

$$\textit{Grado di saturazione } X: \quad X = Q / C_{ep} = 0,60$$

*Tempo medio di attesa* associato ad un ramo della rotatoria  $d$ :

$$d = (3600/c) + 900 \cdot T \cdot [(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + (3600 \cdot X)/(450 \cdot C_e \cdot T)}]$$

$T$  : periodo di analisi pari a 15 minuti = 0,25h

$$d = 10,33 \text{ s/veicolo}$$

In base al tempo medio di attesa " $d$ ", ricavo il L.d.S del ramo della rotatoria entrando con tale dato nella tabella seguente:

Livello di servizio	Ritardo medio
A	$d \leq 10$
B	$10 < d \leq 20$
C	$20 < d \leq 35$
D	$35 < d \leq 55$
E	$55 < d \leq 80$
F	$d > 80$

Tab. 7.5 Livello di Servizio in funzione del Ritardo medio

Otengo un Livello di Servizio pari a B

#### 7.4.2.4 *Ramo Via dell'Aquilino*

$$C_e = A \cdot e^{-BQ}$$

$$A = 3600/t_f$$

$$B = (t_c - 0,5 \cdot t_f)/3600$$

$$A = 1241$$

$$B = 0,00082$$

$$Q = 503 \text{ veic. equiv./ora}$$

$$C_e = 821 \text{ veic./h} \text{ Capacità Effettiva}$$

$$C_{ep} = 0,9 \cdot C_e = 738 \text{ veic/h} \text{ Capacità Pratica}$$

Grado di saturazione  $X$ :  $X = Q/C_{ep} = 0,68$

Tempo medio di attesa associato ad un ramo della rotatoria  $d$ :

$$d = (3600/c) + 900 \cdot T \cdot [(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + (3600 \cdot X)/(450 \cdot C_e \cdot T)}]$$

$T$  : periodo di analisi pari a 15 minuti = 0,25h

$$d = 11,51 \text{ s/veicolo}$$

In base al tempo medio di attesa " $d$ ", ricavo il L.d.S del ramo della rotatoria entrando con tale dato nella tabella seguente:

Livello di servizio	Ritardo medio
A	$d \leq 10$
B	$10 < d \leq 20$
C	$20 < d \leq 35$
D	$35 < d \leq 55$
E	$55 < d \leq 80$
F	$d > 80$

Tab. 7.5 Livello di Servizio in funzione del Ritardo medio

Otengo un Livello di Servizio pari a B



#### 7.4.2.5 Ramo Strada zona artigianale Cala Galera

$$C_e = A \cdot e^{-BQ}$$

$$A = 3600/t_f$$

$$B = (t_c - 0,5 \cdot t_f)/3600$$

$$A = 1241$$

$$B = 0,00082$$

$$Q = 491 \text{ veic. equiv./ora}$$

$$C_e = 829 \text{ veic./h} \text{ Capacità Effettiva}$$

$$C_{ep} = 0,9 \cdot C_e = 746 \text{ veic/h} \text{ Capacità Pratica}$$

Grado di saturazione  $X$ :  $X = Q / C_{ep} = 0,66$

Tempo medio di attesa associato ad un ramo della rotatoria  $d$ :

$$d = (3600/c) + 900 \cdot T \cdot [(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + (3600 \cdot X)/(450 \cdot C_e \cdot T)}]$$

$T$ : periodo di analisi pari a 15 minuti = 0,25h

$$d = 11,20 \text{ s/veicolo}$$

In base al tempo medio di attesa " $d$ ", ricavo il L.d.S del ramo della rotatoria entrando con tale dato nella tabella seguente:

Livello di servizio	Ritardo medio
A	$d \leq 10$
B	$10 < d \leq 20$
C	$20 < d \leq 35$
D	$35 < d \leq 55$
E	$55 < d \leq 80$
F	$d > 80$

Tab. 7.5 Livello di Servizio in funzione del Ritardo medio

Otengo un Livello di Servizio pari a B

## 7.5 Livello di Servizio dell'intera rotatoria

Dopo aver calcolato il L.d.S di ciascun braccio in entrata in rotatoria, posso ricavare il L.d.S dell'intera rotatoria considerando un *tempo medio di attesa totale*  $d_{TOT}$  come media pesata dei tempi medi di attesa dei singoli bracci che confluiscono nella rotatoria, con i pesi pari alle *portate in entrata*  $Q_e$  di ciascun braccio.

### 7.5.1 Rotatoria 1

Strade confluenti: SP 2 Orbetellana (direzione Porto Ercole),  $Q_e = 665$  vei. eq./h

Via Dell'Aquilino,  $Q_e = 503$  vei. eq./h

Strada zona artigianale Cala Galera,  $Q_e = 491$  vei. eq./h

$$d_{TOT} = \sum d_i \cdot Q_{ei} / \sum Q_{ei} = 12,54 \text{ s/veicolo}$$

In base al tempo medio di attesa " $d_{TOT}$ ", ricavo il L.d.S della rotatoria entrando con tale dato nella tabella seguente:

Livello di servizio	Ritardo medio
A	$d \leq 10$
B	$10 < d \leq 20$
C	$20 < d \leq 35$
D	$35 < d \leq 55$
E	$55 < d \leq 80$
F	$d > 80$

Tab. 7.5 Livello di Servizio in funzione del Ritardo medio

Otengo un Livello di Servizio pari a B

### 7.5.2 Rotatoria 2

Strade confluenti: SP 2 Orbetellana (direzione Orbetello),  $Q_e = 598$  vei. eq./h

Via Tramontana,  $Q_e = 457$  vei. eq./h

$$d_{TOT} = \sum d_i \cdot Q_{ei} / \sum Q_{ei} = 12,65 \text{ s/veicolo}$$

In base al tempo medio di attesa " $d_{TOT}$ ", ricavo il L.d.S della rotatoria entrando con tale dato nella tabella seguente:

Livello di servizio	Ritardo medio
A	$d \leq 10$
B	$10 < d \leq 20$
C	$20 < d \leq 35$
D	$35 < d \leq 55$
E	$55 < d \leq 80$
F	$d > 80$

Tab. 7.5 Livello di Servizio in funzione del Ritardo medio

Otengo un Livello di Servizio pari a B

### 7.6 Considerazioni conclusive

Il calcolo del Livello di Servizio delle due rotatorie mi ha permesso di confermare che la conversione di una intersezione a raso in rotatoria comporta un miglioramento delle condizioni di traffico veicolare; infatti passando da un L.d.S C della strada esistente a quello B delle rotatorie progettate, vado ad evitare limitazioni alle correnti veicolari ottenendo elevate condizioni di comfort fisico e psicologico.

# Analisi dell'incidentalità

## 8.1 Obiettivo

In tale paragrafo della tesi si cerca di mettere in evidenza la riduzione di incidentalità che ci si attende nella conversione delle intersezioni a raso in due rotatorie gemelle.

Per la dimostrazione di quanto detto sopra viene utilizzato un modello di calcolo proposto del *National Cooperative Highway Research Program (NHCRP)* relativamente alle rotatorie a tre bracci con una sola corsia nell'anello; tale dati di incidentalità verranno confrontati con quelli forniti dall'ufficio SIRSS della Provincia di Grosseto, riguardanti gli incidenti avvenuti nelle intersezioni a raso esistenti nei 7 anni di osservazione (dal 2008 al 2014).

## 8.2 Dati a disposizione

I dati di incidentalità delle intersezioni esistenti sono quelli forniti dall'ufficio SIRSS della Provincia di Grosseto:

n° anni di osservazione = 7

n° totale di incidenti = 35

Di seguito vengono elencati singolarmente gli incidenti avvenuti negli anni di osservazione, in corrispondenza della zona dove è stata prevista la realizzazione delle rotatorie gemelle:

1. 09/01/2008 – Tamponamento – SP2 Orbetellana
2. 06/08/2008 – Tamponamento – Via Tramontana
3. 23/08/2008 – Fuoriuscita – SP2 Orbetellana
4. 09/05/2009 - Urto con veicolo in arresto – SP2 Orbetellana

5. 13/06/2009 – Urto con ostacolo accidentale – SP2 Orbetellana
6. 15/06/2009 – Scontro frontale – Via Tramontana
7. 18/06/2009 – Urto con veicolo in arresto – Strada Privata Marina Cala Galera
8. 11/07/2009 – Scontro laterale – Via dell'Aquilino
9. 12/11/2009 – Scontro frontale - Strada Privata Marina Cala Galera
10. 08/01/2010 – Scontro laterale – Strada Privata Zona Artigianale Cala Galera
11. 24/08/2010 – Scontro frontale - SP2 Orbetellana
12. 01/03/2010 – Fuoriuscita - SP2 Orbetellana
13. 05/04/2010 – Scontro laterale - SP2 Orbetellana
14. 28/04/2010 – Caduta da veicolo - SP2 Orbetellana
15. 29/05/2010 – Scontro laterale – Via Libeccio
16. 20/06/2010 - Scontro frontale - Strada Privata Marina Cala Galera
17. 24/07/2010 – Scontro frontale - SP2 Orbetellana
18. 15/10/2010 – Scontro laterale – Via Libeccio
19. 25/02/2011 – Scontro laterale – SP2 Orbetellana
20. 04/06/2011 – Investimento di pedone – SP2 Orbetellana
21. 29/06/2011 – Tamponamento – SP2 Orbetellana
22. 23/07/2011 – Investimento di pedone - SP2 Orbetellana
23. 21/08/2011 – Investimento di pedone – Via dell'Aquilino
24. 22/12/2011 – Scontro frontale – Via Tramontana
25. 07/05/2012 – Scontro frontale – SP2 Orbetellana
26. 21/05/2012 – Tamponamento - SP2 Orbetellana
27. 21/07/2012 – Non rilevato - SP2 Orbetellana
28. 24/07/2012 – Tamponamento - Strada Privata Marina Cala Galera
29. 26/07/2012 – Urto con ostacolo accidentale - Strada Privata Marina Cala Galera

- 30. 04/08/2012 – Scontro laterale - SP2 Orbetellana
- 31. 13/08/2012 – Scontro frontale - SP2 Orbetellana
- 32. 14/03/2013 – Scontro frontale – Via Tramontana
- 33. 14/08/2013 – Tamponamento – SP2 Orbetellana
- 34. 18/04/2014 – Fuoriuscita – SP2 Orbetellana
- 35. 29/05/2014 – Scontro frontale – SP2 Orbetellana

### 8.3 *Modello NHCRP*

Tale modello permette di stimare il numero totale di incidenti all'anno prima della realizzazione della rotatoria e quello al momento in cui la conversione intersezione a raso/rotatoria avrà luogo; confrontando i due dati possiamo andare a valutare la variazione percentuale di incidentalità a seguito dell'intervento stradale.

#### 8.3.1 *I calcoli effettuati*

##### Rotatoria 1

Traffico giornaliero medio (prima della conversione): TGM = 3847 veic./giorno

P: stima in base al TGM del numero totale di incidenti all'anno

$$P = (e^{-1,62}) \cdot (TGM)^{0,220} = 1,22$$

Vado a combinare il modello di stima (P) con il numero di incidenti ( $x = 35$ ) negli anni di osservazione ( $n = 7$ ) per ottenere una stima  $m$  del numero totale di incidenti nell'intersezione a raso prima della conversione a rotatoria:

$$m = \omega_1 \cdot x + \omega_2 \cdot P$$

$$\omega_1 = P/(1/k + n \cdot P) = 0,11$$

con  $k = 0,45$  *parametro di dispersione* per questo modello di calcolo

$$\omega_2 = 1/k/(1/k + n \cdot P) = 0,21$$

$$m = \omega_1 \cdot x + \omega_2 \cdot P = 4,11$$

Prevedo un aumento dei volumi di traffico (ad es. 1000 veic./giorno) dal momento in cui la proposta di conversione intersezione a raso/rotatoria viene approvata, al momento in cui avrà luogo la realizzazione ( $TGM_{dopo}$ ), attraverso un *adjustment factor AD*

$$TGM_{dopo} = TGM + 1000 \text{ veic./giorno} = 4847 \text{ veic./giorno}$$

$$AD = (TGM)^{0,220}/(TGM_{dopo})^{0,220} = 1,24$$

Vado a stimare il numero totale di incidenti all'anno nell'intersezione al momento in cui la conversione avrà luogo ( $m^*$ )

$$m^* = m \cdot AD = 5,10$$

A questo punto vado a considerare la situazione a seguito della realizzazione della rotatoria, ovvero la stima del numero totale di incidenti all'anno ( $m^{**}$ )

$$m^{**} = 0,0023 \cdot (TGM_{dopo})^{0,7490} = 1,32$$



Stimo la riduzione dell'incidentalità a seguito della conversione intersezione a raso/rotatoria (ERA – Expected reduction accidents)

$$ERA = m^{**} - m^{*} = 1,32 - 5,10 = -3,78$$

Ho una RIDUZIONE TOTALE DI INCIDENTI ALL'ANNO PARI AL 26%.

### Rotatoria 2

Traffico giornaliero medio (prima della conversione): TGM = 2347 veic./giorno

P: stima in base al TGM del numero totale di incidenti all'anno

$$P = (e^{-1,62}) \cdot (TGM)^{0,220} = 1,09$$

Vado a combinare il modello di stima (P) con il numero di incidenti ( $x = 35$ ) negli anni di osservazione ( $n = 7$ ) per ottenere una stima  $m$  del numero totale di incidenti nell'intersezione a raso prima della conversione a rotatoria:

$$m = \omega_1 \cdot x + \omega_2 \cdot P$$

$$\omega_1 = P / (1/k + n \cdot P) = 0,11$$

con  $k = 0,45$  *parametro di dispersione* per questo modello di calcolo

$$\omega_2 = 1/k / (1/k + n \cdot P) = 0,23$$

$$m = \omega_1 \cdot x + \omega_2 \cdot P = 4,10$$

Prevedo un aumento dei volumi di traffico (ad es. 1000 veic./giorno) dal momento in cui la proposta di conversione intersezione a raso/rotatoria viene approvata, al momento in cui avrà luogo la realizzazione ( $TGM_{dopo}$ ), attraverso un *adjustment factor AD*

$$TGM_{dopo} = TGM + 1000 \text{ veic./giorno} = 3347 \text{ veic./giorno}$$

$$AD = (TGM)^{0,220} / (TGM_{dopo})^{0,220} = 1,08$$

Vado a stimare il numero totale di incidenti all'anno nell'intersezione al momento in cui la conversione avrà luogo ( $m^*$ )

$$m^* = m \cdot AD = 4,43$$

A questo punto vado a considerare la situazione a seguito della realizzazione della rotatoria, ovvero la stima del numero totale di incidenti all'anno ( $m^{**}$ )

$$m^{**} = 0,0023 \cdot (TGM_{dopo})^{0,7490} = 1,01$$

Stimo la riduzione dell'incidentalità a seguito della conversione intersezione a raso/rotatoria (ERA – Expected reduction accidents)

$$ERA = m^{**} - m^* = 1,01 - 4,43 = -3,42$$

Ho una RIDUZIONE TOTALE DI INCIDENTI ALL'ANNO PARI AL 23%.

#### 8.4 *Considerazioni conclusive*

Come già messo in evidenza da numerosi documenti presenti in letteratura, la conversione della intersezione a raso in rotatoria comporta una riduzione degli incidenti stradali e dunque un aumento della sicurezza di guida.

Infatti la circolazione a senso unico nell'anello, l'obbligo di dare la precedenza imposto ai veicoli in entrata ed il minor numero di punti di conflitto rendono più semplice il controllo della guida per i conducenti; il guidatore che sta per entrare in rotatoria deve solamente guardare a sinistra per controllare di avere un *gap* accettabile a disposizione nel flusso che percorre l'anello.

I minori tempi di attesa in rotatoria rispetto a quelli di una intersezione a raso o controllata da semaforo, diminuiscono lo stress di guida del conducente; le basse velocità relative e la conduzione del veicolo su traiettorie curve, portano il conducente ad una maggiore attenzione alla guida.

# Conclusioni

Lo scopo di questa tesi di laurea era quello di progettare un intervento a livello stradale per migliorare la sicurezza dell'accessibilità al centro abitato di Porto Ercole, ovvero diminuire i punti di conflitto, e conseguentemente gli incidenti tra veicoli, in corrispondenza delle intersezioni stradali considerate.

Si è cercato di arrivare a ciò attraverso la modifica di una prima intersezione a "T" con ramo secondario inclinato rispetto alla SP2 Orbetellana con una sempre a "T" ma con ramo secondario ortogonale al principale; questo perché l'inclinazione della secondaria rispetto alla principale, ovvero la presenza di un tratto di strada curvo, tende a portare le traiettorie dei veicoli verso l'esterno della curva per effetto della forza centrifuga, con pericolo di uscita degli autoveicoli dalla sede stradale e dunque di incidenti stradali. La soluzione progettuale con strada secondaria ortogonale alla principale, invece, permette ai veicoli di mantenere la traiettoria rettilinea dopo il tratto di imbocco curvo, e dunque di evitare sbandamenti.

Inoltre, è stata prevista la realizzazione di due rotatorie gemelle in sostituzione delle intersezioni che interessano la SP 2 Orbetellana, via Tramontana, via dell'Aquilino, via Libeccio e la Strada Privata zona Artigianale Cala Galera. Questo secondo intervento permette di rendere più fluida la circolazione veicolare e di ridurre i punti di conflitto, caratteristiche principali dell'intersezione a rotatoria, come ampiamente dimostrato in letteratura. Inoltre, dall'analisi del livello di servizio svolta al Paragrafo 7, si è potuto evincere un miglioramento dello stesso con passaggio da LdS C a LdS B; anche ciò porta ad un miglioramento generale della sicurezza nella circolazione e nell'accesso al centro abitato, sia per i veicoli, che per i motocicli e veicoli pesanti. Questi ultimi, infatti, sono

largamente inscrivibili nelle corsie degli anelli delle rotatorie gemelle senza limitazioni o problemi nella manovra.

L'installazione di due apparati di illuminazione, come analizzato al paragrafo 5, porta ad un miglioramento nella percezione dell'intersezione, ovvero fa rivelare ai conducenti dei veicoli l'esistenza dell'intersezione stessa, le direzioni delle strade che vi confluiscono e si dipartono da essa, la posizione dei marciapiedi, la presenza di pedoni e altri utenti, le ostruzioni e il movimento di veicoli nelle vicinanze dell'area di intersezione.

La visibilità notturna dipende dal contrasto fra l'oggetto che si osserva (vettura, pedone, ecc.) e lo sfondo su cui è posto (strada) e per questo, grazie agli apparati illuminanti a palo centrale che verranno installati, verrà garantito un livello di contrasto uniforme su tutta la superficie delle rotatorie gemelle; questo perché, mentre nella circolazione su una strada rettilinea il guidatore utilizza principalmente una corsia della carreggiata, e gli ostacoli nella maggior parte dei casi si trovano frontalmente, nelle rotatorie gli ostacoli si posizionano in tutte le direzioni.

Per la preziosa collaborazione nella stesura di questa tesi ringrazio il Prof. Ing. Massimo Losa e il Prof. Ing. Antonio Pratelli, del Dipartimento di Vie e Trasporti della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pisa.

Inoltre ringrazio la Dott.ssa Sara Baffigi dell'Ufficio SIRSS della Provincia di Grosseto, il Corpo dei Vigili Urbani del Comune di Monte Argentario, il Geom. Sergio Breschi dell'Ufficio Tecnico del Comune di Monte Argentario e tutti gli amici che mi hanno aiutato in qualche modo nella stesura di questo testo.

# Bibliografia

1. Losa M., *"Corso di Fondamenti di Infrastrutture viarie"* - appunti delle lezioni: Livello di Servizio.
2. Losa M., *"Corso di Fondamenti di Infrastrutture viarie"* – appunti delle lezioni: Sezioni trasversali, planimetria delle aree di occupazione e sistemazione idraulica.
3. Pratelli A., *"Progetto delle intersezioni a rotatoria"*, TEP, Pisa 2001.
4. Pratelli A., *"Rotatorie di nuova generazione"*, TEP, Pisa 2004.
5. Pratelli A., *"Moderne rotatorie per nuovi sistemi di traffico"*, in Vernieri P. (a cura di) *"Le Rotatorie stradali: un biglietto da visita per il territorio"*, Felici Editore, 2008
6. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, *"Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle infrastrutture stradali"*, D.M. n. 1966 del 19.04.2006.
7. SINTAGMA, *"Piano Urbano della Mobilità – Piano Urbano del Traffico"* Comune di Monte Argentario.
8. HCM 2010
9. U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration, *"National Cooperative Highway Research Program – Report 672"*.